



SKRIPSI

**KINERJA BAHAN BAKAR CAIR DARI LIMBAH PLASTIK
POLIPROPILENA DAN KO-REAKTAN BIODIESEL
MINYAK BIJI NYAMPLUNG (*CALOPHYLLUM
INOPHYLLUM*) PADA MESIN GASOLIN DENGAN ADITIF
METIL TERSIER BUTIL ETHER**

**AHMAD ASHHABUL YAMIN AMRULLAH
NRP. 01211440000040**

**Dosen Pembimbing
Dr. Hendro Juwono, M.Si
Dra. Harmami, MS**

**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS ILMU ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



SCRIPT

**PERFORMANCE LIQUID FUEL FROM
POLYPROPYLENE PLASTIC WASTE AND CO-
REACTAN BIODIESEL NYAMPLUNG OIL
(*CALOPHYLLUM INOPHYLLUM*) IN GASOLINE ENGINE
WITH METYL TERS BUTYL ETHER ADDITIVES**

**AHMAD ASHHABUL YAMIN AMRULLAH
NRP. 0121144000040**

**Advisor Lecture
Dr. Hendro Juwono, M.Si
Dra. Harmami, MS**

**DEPARTMENT OF CHEMISTRY
FACULTY OF SCIENCES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

**KINERJA BAHAN BAKAR CAIR DARI LIMBAH
PLASTIK POLIPROPILENA DAN KO-REAKTAN
BIODIESEL MINYAK BIJI NYAMPLUNG
(*CALOPHYLLUM INOPHYLLUM*) PADA MESIN GASOLIN
DENGAN ADITIF METIL TERSIER BUTIL ETER**

SKRIPSI

Disusun sebagai syarat memperoleh gelar
Sarjana Sains
Pada
Program Studi S-1 Kimia
Fakultas Ilmu Alam
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Disusun Oleh:

A. Ashhabul Yamin Amrullah
NRP 012144000040

**DEPARTEMEN KIMIA
FAKULTAS ILMU ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

LEMBAR PENGESAHAN

KINERJA BAHAN BAKAR CAIR DARI LIMBAH PLASTIK POLIPROPILENA DAN KO-REAKTAN BIODIESEL MINYAK BJI NYAMPLUNG (*CALOPHYLLUM INOPHYLLUM*) PADA MESIN GASOLIN DENGAN ADITIF METIL TERSIER BUTIL ETER

SKRIPSI

Disusun oleh:

A. Ashhabul Yamin Amrullah
NRP. 0121440000040

Surabaya, 8 Mei 2018

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I



Dr. Hendro Juwono, M.Si
NIP 19610606 198803 1 001

Dosen Pembimbing II



Dra. Harmami, MS
NIP 19611216 198803 2 002



Menggetahui,
Kepala Departemen Kimia FIA
Prof. Dr. Didik Prasetyoko, S.Si., M.Sc.
NIP 19710616 199703 1 002

*Karya ini kupersembahkan untuk Ibu, Bapak, adik dan Seluruh
Keluarga besar
Dosen pembimbing dan penguji
Keluarga teman-teman GALAXY 2014
serta seluruh teman-teman
yang selalu membantu dan memotivasi*

**KINERJA BAHAN BAKAR CAIR DARI LIMBAH
PLASTIK POLIPROPILENA DAN KO-REAKTAN
BIODIESEL MINYAK BIJI NYAMPLUNG
(*CALOPHYLLUM INOPHYLLUM*) PADA MESIN GASOLIN
DENGAN ADITIF METIL TERSIER BUTIL ETER**

Nama : A. Ashhabul Yamin Amrullah
NRP : 0121440000040
Departemen : Kimia ITS
Dosen Pembimbing : Dr Hendro Juwono, M.Si
: Dra. Harmami, MS.

ABSTRAK

Bahan bakar cair dari limbah plastik polipropilena dengan ko-reaktan biodiesel dari minyak nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) dengan konversi katalitik telah berhasil dilakukan. Variasi *feedstock* yang digunakan dari plastik 100 % hingga 40 % dengan volume total 300 mL. Katalis Al-MCM-41 : Keramik (7:3) dikarakterisasi dengan XRD, SEM, Piridin-FTIR dan Adsorpsi-Desorpsi N₂. Penambahan jumlah ko-reaktan mampu mempengaruhi % yield dan karakteristik fisik produk bahan bakar cair. Hasil penelitian menunjukkan bahwa % fraksi bensin (C₇-C₁₂) terbesar dihasilkan variasi *feedstock* 100 % polipropilen : 0 % biodiesel nyamplung (PN0) sebesar 93,92 %. Kinerja campuran bahan bakar cair (10 % (PN0) : 90 % (Premium), 2,45 % (MTBE); (CPN0)) memiliki efisiensi termal (BTE) pada pembebanan 2.090 watt sebesar 27,18 % dibanding Premium dan TCPN0 (tanpa MTBE). Bahan bakar CPN0 memiliki nilai kalor sebesar 18.098,44 kkal/kg, densitas 0,725 g/cm³ dan viskositas kinematik 0,262 cSt. Seluruh bahan bakar cair konversi katalitik dan campuran bahan bakar cair diproduksi memenuhi standar SNI 06-3506-1994.

Kata Kunci: Bahan Bakar Cair, Biodiesel *C. Inophyllum*, Polipropilena, Konversi Katalitik, Metil Tersier Butil Eter

**PERFORMANCE LIQUID FUEL FROM
POLYPROPYLENE PLASTIC WASTE AND CO-
REACTAN BIODIESEL NYAMPLUNG OIL
(*CALOPHYLLUM INOPHYLLUM*) IN GASOLINE ENGINE
WITH METYL TERS BUTYL ETHER ADDITIVES**

Name : A. Ashhabul Yamin Amrullah
NRP : 0121440000040
Department : Kimia ITS
Advisore Lecture : Dr Hendro Juwono, M.Si
: Dra. Harmami, MS

ABSTRACT

Liquid fuels from polypropylen plastic waste and co-reactan biodiesel from nyamplung oil (*Calophyllum Inophyllum*) by catalytic conversion has been success produced. Variations feedstock of plastics used from 100% to 40% with a total volume of 300 mL. Catalyst Al-MCM-41: Ceramics (7:3) characterized by XRD, SEM, Pyridine-FTIR and Adsorption-Desorption N₂. The amount of ko-reactan can effect % yield and physical characterize liquid fuels. The results showed that the largest percentage of gasoline (C7-C12) fraction produced variation of feedstock 100 % polypropylen : 0 % nyamplung biodiesel (PN0) of 93,92%. Performance liquid fuel blend (10 % (PN0) : 90 % (Premium), 2,45 % (MTBE), CPN0) have greatest thermal efficiency (BTE) in load 2.090 watt with value 27.18 % than Premium and TCPN0 (without MTBE). Liquid fuel (CPN0) result with heat value of 18.098,44 kcal/kg, density 0,725 g/cm³ and kinematic viscosity 0,262 cSt. All of liquid fuel from catalytic conversion and liquid fuel blends has been produced fulfill the SNI 06-3506-1994.

Keyword: Liquid fuels, Biodiesel *C. Inophyllum*, Polypropilene, Conversion Catalytic, Metyl Ters Butyl Ether

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan dengan baik naskah Tugas Akhir yang berjudul **“Kinerja Bahan Bakar Cair Dari Limbah Plastik Polipropilena Dan Ko-Reaktan Biodiesel Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) Pada Mesin Gasolin Dengan Aditif Metil Tersier Butil Eter”**

Tulisan ini tidak akan terwujud tanpa bantuan, dukungan, doa serta dorongan semangat dari semua pihak. Untuk itu penulis sangat berterima kasih kepada:

1. Dr Hendro Juwono, M.Si dan Dra. Harmami, MS, selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama proses penyusunan naskah Skripsi ini.
2. Prof. Dr. Didik Prasetyoko, S.Si, M.Sc selaku Kepala Departemen Kimia FMIPA-ITS atas fasilitas yang telah diberikan hingga naskah Skripsi ini dapat terselesaikan.
3. Dra. Ita Ulfin, M.Si, selaku Dosen Wali yang telah memberikan bimbingan selama berada di Departemen Kimia.
3. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberi dukungan, doa, serta semangat yang tiada henti.
4. Teman-teman GALAXY dan Kamp Ceria yang selalu memberi semangat, doa dan dukungan.
5. Novita Putri Islamiyah yang telah ikut membantu dan mendoakan kelancaran skripsi saya.

Penulis menyadari bahwa penulisan naskah Tugas Akhir ini tidak lepas dari kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun yang dapat meningkatkan kualitas dan perbaikan lebih lanjut. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, 8 Mei 2018
Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Batasan Masalah.....	6
1.4 Tujuan.....	7
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 Polipropilen.....	9
2.2 Perengkahan.....	11
2.2.1 Perengkahan Termal.....	11
2.2.2 Perengkahan Katalitik.....	14
2.4 Tanaman Nyamplung (<i>Calophyllum inophyllum</i>).....	21
2.5 Biodiesel Minyak Nyamplung (<i>Calophyllum inophyllum</i>).....	23
2.6 Esterifikasi-Transesterifikasi.....	26
2.7 Katalis Al-MCM-41.....	28
2.8 Metil Tersier Butil Eter (MTBE).....	30
2.10 Karakterisasi Katalis.....	33
2.10.1 X-Ray Diffraction (XRD).....	33
2.10.2 Scanning Electronic Microscope (SEM).....	35
2.10.3 Adsorpsi-Desorpsi Nitrogen.....	37
2.10.4 Penentuan Asam Basa Permukaan Padatan.....	40

2.11.1 <i>Gas Chromatography - Mass Spectroscopy</i> (GC - MS)	42
2.11.2 Densitas	44
2.11.3 Viskositas Kinematik	45
2.11.4 Titik Nyala	45
2.11.5 Nilai Kalor	46
2.12. Karakterisasi Performa Bahan Bakar Cair pada Mesin Gasolin	47
BAB III METODE PENELITIAN	49
3.1 Alat dan Bahan	49
3.1.1 Alat	49
3.1.2 Bahan	49
3.2 Prosedur Penelitian	49
3.2.1 Produksi Hidrokarbon dengan Pirolisis Limbah Plastik Polipropilena	49
3.2.2 Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nyamplung	50
3.2.3 Persiapan Katalis	51
3.2.4 Produksi Bahan Bakar Cair Plastik dengan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Nyamplung	51
3.2.5 Karakterisasi Katalis Al-MCM-41 : Keramik (7 : 3)	52
3.2.6 Metode eksperimental dan evaluasi data	53
3.3 Produksi Campuran Bahan Bakar Cair	53
3.4 Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair	54
3.4.1 <i>Gas Chromatograph-Mass Spectrophotometer</i> (GC-MS)	55
3.4.2 Penentuan Densitas Campuran Bahan Bakar Cair	55
3.4.3 Penentuan Titik Nyala Campuran Bahan Bakar Cair	56
3.4.4 Penentuan Nilai Kalor Campuran Bahan Bakar Cair	56

3.4.5	Penentuan Viskositas Kinematik.....	56
3.5	Penentuan Performa Campuran Bahan Bakar Cair pada Mesin Gasolin.....	57
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		59
4.1	Produksi Bahan Bakar Cair	59
4.1.1	Produksi Bahan Bakar Cair Plastik.....	60
4.1.2	Hasil Produksi Bahan Bakar Cair dari Limbah Plastik Polipropilena dengan Ko-Reaktan Biodiesel Minyak Biji Nyamplung	63
4.2	Karakterisasi Katalis	66
4.2.1	Hasil Karakterisasi XRD.....	66
4.2.2	Hasil Karakterisasi SEM.....	67
4.2.3	Hasil Karakterisasi Adsorpsi – Desorpsi N ₂	68
4.2.4	Keasaman Menggunakan FTIR-Piridin	70
4.3	Analisa Fraksi Hidrokarbon Bahan Bakar Cair Dengan GC-MS.....	71
4.4	Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair dan Performa pada Mesin Gasolin	74
4.4.1	Nilai Kalor Campuran Bahan Bakar Cair (CPN).....	74
4.4.2	Densitas Campuran Bahan Bakar Cair	77
4.4.3	Titik Nyala Campuran Bahan Bakar Cair.....	79
4.4.4	Viskositas Campuran Bahan Bakar Cair	81
4.4.5	Performa Jenis Bahan Bakar Cair	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		85
5.1	Kesimpulan.....	85
5.2	Saran	85
DAFTAR PUSTAKA		87
LAMPIRAN.....		99
BIODATA PENULIS		135

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Feedstock Pembuatan Biodiesel (Sakthivel dkk., 2018)	20
Tabel 2.2 Kadar FFA dalam Minyak Nyamplung (Ong dkk., 2014)	24
Tabel 2.3 Karakteristik Minyak Nyamplung Sebelum dan Sesudah Degumming (Ong dkk., 2014).	25
Tabel 3.1 Jenis Campuran Bahan Bakar Cair	54
Tabel 4.1 Volume BBC dan Kokas Perengkahan Katalitik Feedstock Minyak Plastik dan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Nyamplung Tahap 1	66
Tabel 4.2 Data Hasil Uji Adsorpsi – Desorpsi N ₂	70
Tabel 4.3 % Fraksi Komposisi Rantai Hidrokarbon dalam Bahan Bakar Cair (BBC)	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Monomer Polipropilena (Calhound, 2016)..	9
Gambar 2.2 Taktisitas Polipropilen : (A) Isotaktik, (B) Sindiotaktik, dan (C) Ataktik (Calhound, 2016)	10
Gambar 2.3 Mekanisme Perengkahan Katalitik Polipropilen dengan Zeolit (Sibarani, 2012).....	14
Gambar 2.4 Mekanisme Reaksi Pemindahan Hidrogen pada Karbonium (Mao dkk., 2013).....	17
Gambar 2.5 Reaksi Isomerisasi pada Perpindahan Hidrogen (Mao dkk., 2013).....	17
Gambar 2.6 Reaksi Isomerisasi pada Perpindahan Metil (Mao dkk., 2013).....	17
Gambar 2.7 Bagian Tumbuhan Nyamplung Daun (a), Biji (b), Bunga (c) dan batang (d).....	22
Gambar 2.8 Reaksi Esterifikasi dengan Katalis Asam Sulfat	27
Gambar 2.9 Reaksi Esterifikasi dengan Katalis Asam Lewis (Marso dkk., 2017).....	27
Gambar 2.10 Reaksi transesterifikasi dengan katalis basa (Gauraf dkk., 2016).....	28
Gambar 2.11 Struktur Katalis Al-MCM-41 (Naik dkk., 2010)...	29
Gambar 2. 12 Struktur Molekul Metil Tersier Butil Eter (MTBE)	31
Gambar 2.13 Prinsip Kerja Bragg's Law (Lamas dkk., 2015)....	33
Gambar 2. 14 (a) Hasil XRD sudut pendek AL- MCM-41 (b) Hasil XRD sudut lebar AL- MCM-41	35
Gambar 2. 15 Diagram Scanning Electronic Microscope (Pereira-da-Silva dan Ferri, 2015).....	36
Gambar 2.16 Hasil Analisis SEM (a) Al-MCM-41 rasio Al/Si (10), (b) Al-MCM-41 rasio Al/Si (20) dan (c) Al-MCM-41 rasio Al/Si (100).....	37
Gambar 2.17 Klasifikasi isoterm adsorpsi-desorpsi (Adamson, 1994).....	39

Gambar 2.18 Grafik Isoterm Adsorpsi Desorpsi Nitrogen Al-MCM-41	40
Gambar 2.19 Absorbansi FTIR Piridin Katalis Al-MCM-41.....	41
Gambar 2.20 Skema Instrumen Gas Chromatography – Mass Spectroscopy (Kumar dkk., 2015).....	43
Gambar 2.21 Skema Bomb-Kalorimeter	47
Gambar 2.22 Modifikasi Skema Pengujian pada Mesin Gasolin (Topgul, 2015)	48
Gambar 4.1 Gelas Plastik Polipropilena	60
Gambar 4.2 Cacahan Limbah Plastik	61
Gambar 4.3 Reaktor Perengkahan Termal Polipropilena.....	61
Gambar 4.4 Bahan Bakar Minyak Plastik Hasil Perengkahan Termal Polipropilena.....	62
Gambar 4. 5 (a) Katalis Al-MCM-41 : Keramik Busi (7 : 3), (b) Pellet Katalis	63
Gambar 4.6 Rangkaian Reaktor perengkahan katalitik minyak plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak nyamplung	64
Gambar 4.7 Hasil Perengkahan Katalitik Bahan Bakar Cair Dengan Variasi Feedstock.....	65
Gambar 4.8 (a) Defraktogram Puncak khas MCM-41, (b) Defraktogram Al dan Defragtogram Keramik Busi.	67
Gambar 4.9 (a) SEM Al-MCM-41 (b) SEM Al-MCM-41 : Keramik (7:3).....	68
Gambar 4. 10 (a) Grafik isoterm Al-MCM-41 referensi (b) Grafik isoterm Al-MCM-41 : Keramik	69
Gambar 4.11 Spektra Piridin-FTIR Katalis Al-MCM-41	70
Gambar 4.12 Kromatogram Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan 100 % (P) : 0 % (N)	72
Gambar 4.13 Komposisi Hidrokarbon Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan setiap Variasi feedstock	73

Gambar 4.14 Komposisi Fraksi Bensin pada Bahan Bakar Cair (BBC) Hasil Perengkahan Setiap Variasi feedstock	73
Gambar 4.15 Perbandingan Nilai Kalor Bahan Bakar Cair dengan Campuran Bahan Bakar Cair (CPN).....	76
Gambar 4.16 Perbandingan Densitas Bahan Bakar Cair dengan Campuran Bahan Bakar Cair (CPN)	78
Gambar 4.17 Perbandingan Titik Nyala Campuran Bahan Bakar Cair terhadap Bahan Bakar Cair	80
Gambar 4.18 Viskositas Campuran Bahan Bakar Cair	82
Gambar 4.19 Brake Thermal Efficiency (BTE) Jenis Bahan Bakar Cair	84

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	99
A. 1 Skema Kerja	99
A. 2 Prosedur Kerja	100
A. 2. 1. Sintesis Bahan Bakar Cair dari Plastik	100
A.2.2. Persiapan katalis	101
A.2.3. Produksi dan Karakterisasi Bahan Bakar Cair	102
A.2.4. Produksi dan Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair	103
LAMPIRAN B	105
B.1 Karakterisasi Katalis Al-MCM-41 : Keramik Busi (7:3) ...	105
B.1.1 Hasil Karakterisasi SEM.....	105
B.1.2 Hasil Karakterisasi Adsorpsi – Desorpsi N ₂	106
B.1.4 Hasil Piridin-FTIR Al-MCM-41	108
LAMPIRAN C	109
C.1 Karakterisasi Bahan Bakar Cair (PN)	109
C.1.1 Hasil Konversi BBC	109
C.1.2 Hasil Karakterisasi Nilai Kalor Bahan Bakar Cair (PN) .	110
C.1.3 Hasil Karakterisasi Titik Nyala Bahan Bakar Cair (PN) .	110
C.1.4 Hasil Karakterisasi Densitas Bahan Bakar Cair (PN)	110
C.1.5 Perhitungan % Yield Fraksi Bahan Bakar Cair (PN)	111
LAMPIRAN D	113
D.1 Hasil Karakterisasi GC-MS Fraksi Rantai Hidrokarbon dalam Bahan Bakar Cair (PN)	113
E.1 Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair (CPN)	127
E.1.1 Hasil Karakterisasi Titik Nyala CPN	127
E.1.2 Hasil Karakterisasi Nilai Kalor CPN.....	127
E.1.3 Hasil Karakterisasi Densitas CPN.....	127
E.1.4 Hasil Karakterisasi Viskositas Kinematik CPN	128
LAMPIRAN F.....	130
F.1 Data Performa Jenis Bahan Bakar Cair dalam Generator Set Gasolin	130
LAMPIRAN G	134
G.1 Standar Baku Mutu Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin	134
G.1.1 SNI 06-3506-1994	134
G.1.2 Spesifikasi Bahan Bakar Cair Jenis Gasoline Standar ASTM Berdasar Jurnal (Ahmad dkk., 2017).....	134

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Konsumsi energi di Indonesia semakin meningkat seiring pertumbuhan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan perkembangan teknologi guna mendukung aktivitas manusianya. Bahan bakar fosil sebagai penopang utama sumber energi digunakan secara luas dalam pembangkit listrik, kendaraan bermotor, industri manufaktur dan generator listrik (Monirul dkk., 2016). Bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak bumi dan gas alam adalah sumber daya alam tidak dapat diperbarui dan ketersediaannya semakin terbatas dari waktu ke waktu (Mohr dkk., 2015). Eksploitasi bahan bakar fosil berdampak buruk terhadap kondisi lingkungan akibat proses penambangan dan emisi gas NO_x dan SO_x yang dihasilkan andil dalam perubahan iklim. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut perlu bahan bakar alternatif yang dapat diperbarui (*renewable energy*), efisien dan ramah lingkungan. Saat ini banyak dikembangkan bahan bakar alternatif dari sampah, limbah organik, biomassa dan minyak nabati (Muthukumaran dkk., 2015).

Minyak nabati sebagai salah satu sumber karbon dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar alternatif terutama biodiesel. Bahan bakar yang berasal dari minyak nabati menghasilkan emisi gas rumah kaca yang lebih sedikit (Ong dkk., 2014). Minyak nabati yang berasal dari sumber *non-edible* diklasifikasikan sebagai *feedstock* kelas dua dalam pembuatan biodiesel. Minyak nabati *non-edible* sangat mudah diperoleh dan biaya yang murah. Tumbuhan *C. Inophyllum* banyak tumbuh di dataran rendah mulai dari Afrika Timur, India, Asia Tenggara, Pasifik Selatan dan Indonesia (Alagu dkk., 2015). *Calophyllum inophyllum* Indonesia dengan tanaman nyamplung banyak dimanfaatkan sebagai *biofuel* dikarenakan memiliki rendemen minyak sebanyak (65-75%) termasuk didalamnya terdapat asam lemak bebas essensial (oleat

dan linoleat) (Nathagopal dkk, 2017). Minyak yang dihasilkan *C. Inophyllum* rata-rata 11,7 kg/tanaman atau 4.680 kg/ha apabila ditanam sekitar 400 pohon/ha (Ong dkk., 2014).

Minyak nabati dari nyamplung memiliki nilai kalor rendah dan viskositas sehingga menyebabkan proses pembakaran dalam mesin kurang maksimal. Kandungan *Free Fatty Acid* (FFA) harus diolah terlebih dahulu dengan katalis bersifat asam atau basa untuk membentuk metil ester dengan metanol, sehingga sifat biodiesel yang dihasilkan kompatibel dengan standar biodiesel ASTM D 6751-06 (Ong dkk., 2011). Namun biodiesel *C. Inophyllum* memiliki performa dan karakteristik fisik yang rendah sebagai *biofuel* karena dapat menimbulkan kerusakan sistem injeksi dan pembakaran kurang efisien (Ashok dkk., 2017). Perengkahan katalitik co-pirolisis biodiesel dengan ko-reaktan polipropilen telah direkomendasikan selain untuk meningkatkan karakteristik dan persen yield (Park dkk., 2017).

Plastik sebagai ko-reaktan sejatinya dapat dikonversi menjadi bahan bakar cair dengan perengkahan katalitik. MenLHK (Kementrian Lingkungan hidup dan Kehutanan) pada tahun 2014 jumlah sampah plastik di Indonesia mencapai 64 juta ton pertahun berdampak negatif terhadap kelestarian tanah dan air (MenLHK, 2014). Jumlah limbah plastik yang besar berpotensi sebagai ko-reaktan bahan bakar cair (Miandad dkk., 2017). Limbah plastik yang sering ditemukan di seluruh dunia yaitu, Polietilen (PE), Polipropilen (PP), Polistiren (PS), Polivinil Klorida (PVC) (Kassargy dkk., 2017; Surono dan Ismanto., 2016). Plastik mengandung berbagai macam zat aditif dan pewarna beracun untuk meningkatkan kualitas secara fisik dan kimia. Hal ini dapat menimbulkan kerusakan signifikan bagi lingkungan (Hermabessiere dkk., 2017). Penanganan sampah plastik dengan sistem *landfill* dan *open dumping* bukan pilihan tepat karena laju degradasi lambat oleh mikroba dan tanah (Kalargaris dkk., 2018).

Polipropilen (PP) banyak ditemukan dalam komposisi limbah plastik karena banyak digunakan sebagai botol plastik, kantong plastik, kemasan makanan, bagian kendaraan dan peralatan rumah tangga. Polipropilen diproduksi sebanyak 55 juta ton di dunia karena memiliki sifat paling mudah dibuat, tahan terhadap pengaruh suhu, kimia, mekanik dan biaya pembuatan yang murah (Kalargaris dkk., 2018). Polipropilen dikonversi menjadi *biofuel* melalui dua proses yaitu perengkahan dengan suhu tinggi dan perengkahan dengan katalis (Zhao dkk., 2018). Duan dkk (2017) melaporkan produksi bio-minyak dari lignin dengan ko-reaktan polipropilen dengan rasio 1:2 menghasilkan bio-minyak sebanyak 59,42% berat. Faktor suhu pada proses perengkahan katalitik sangat berpengaruh terhadap persen yield dan struktur rantai hidrokarbon yang dihasilkan. Co-pirolisis polipropilena dikonversi dengan katalis sehingga meningkatkan efisiensi perengkahan (Abbas-Abadi dkk., 2017).

Katalis berpengaruh terhadap selektivitas, efisiensi dan persen yield hasil perengkahan katalitik polipropilen. Katalis berpori seperti zeolit ZSM-5, zeolite USY, zeolite H β dan HY diketahui mempunyai kemampuan perengkahan senyawa dengan berat molekul yang besar seperti polipropilen (Zhao dkk., 2018, Kassargy dkk., 2017, Lee dkk., 2015). Keasaman dan tipe mesopori dan mikropori katalis berpengaruh pada panjang rantai karbon dan persen yield produk. Namun permasalahan yang dihadapi katalis dengan tipe mikropori molekul besar sulit bereaksi dengan sisi aktif katalis yang bersifat asam (Jiraroj dkk., 2016). Oleh karena itu dikembangkan katalis dengan mesopori seperti MCM-41 namun memiliki keasaman lemah. MCM-41 dimodifikasi dengan memasukkan logam Al untuk meningkatkan keasaman katalis (Juwono dkk., 2013). Rifaldi (2017) melaporkan perengkahan katalitik polipropilen dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelanta dengan katalis Al-MCM-41 : Keramik (7:3) pada

jumlah 40% polipropilen dapat menghasilkan fraksi hidrokarbon (C_7 - C_{20}) sebesar 93,31%. Bahan bakar cair hasil co-pirolisis memiliki persen yield yang dibawah 50%, densitas dan nilai kalor mendekati standar gasolin.

Pada penelitian ini dilakukan konversi katalitik limbah plastik polipropilen dan ko-reaktan biodiesel nyamplung untuk menghasilkan bahan bakar cair dengan fraksi (C_8 - C_{20}) dengan variasi *feedstock*. BBC yang telah diproduksi kemudian diuji dengan *Gas Chromatography-Mass Spectrometer* (GC-MS) dan diketahui komponen penyusunnya. Pengujian karakterisasi fisik meliputi densitas, viskositas, titik nyala dan nilai kalor. Kemudian bahan bakar cair hasil perengkahan ditambahkan dengan bahan bakar premium (RON 88) dan aditif metil tersier butil eter (MTBE) untuk mendapatkan kinerja bahan bakar cair hasil perengkahan dalam generator set mesin gasolin.

Seperti yang dilakukan oleh Juwono dkk (2017) yang menggunakan komposisi 90% bahan bakar komersial dan 10% biodiesel nyamplung untuk mendapatkan kinerja yang maksimal. Aditif jenis eter seperti metil tersier butil eter (MTBE) dan tersier amil etil eter (TAEE) diketahui digunakan untuk meningkatkan jumlah oksigen dalam bahan bakar, sehingga meningkatkan efisiensi bahan bakar cair dalam mesin (Cataluña dkk., 2011). Pada penelitian ini aditif jenis MTBE ditambahkan untuk mendapatkan kinerja terbaik dari campuran bahan bakar cair yang terdiri dari BBC perengkahan : Premium (RON 88) (10% : 90%). Campuran bahan bakar cair yang telah diproduksi diuji karakteristik fisik nilai kalor, viskositas kinematik, densitas dan titik nyala dibandingkan dengan hasil perengkahan minyak plastik dengan ko-reaktan minyak nyamplung pada setiap variasi *feedstock* serta dibandingkan dengan bahan bakar premium (RON 88). Kinerja campuran bahan bakar cair pada setiap variasi *feedstock* juga diuji pada mesin genset gasolin untuk mengetahui nilai efisiensi termal

(BTE) terhadap premium (RON 88) dan campuran bahan bakar cair tanpa penambahan aditif MTBE.

1.2 Rumusan Masalah

Produksi bahan bakar cair oleh Rifaldi (2017) dari limbah plastik PP dan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah menggunakan metode konversi katalitik dengan katalis Al-MCM-41 : Keramik (7:3). Perbandingan % volume plastik dengan biodiesel minyak jelantah diterapkan pada volume total 300 mL. Variasi yang digunakan dari plastik 100% hingga 40% sebagai reaktan dengan ko-reaktan biodiesel minyak jelantah. Penambahan keramik pada Al-MCM-41 meningkatkan luas permukaan, volume pori, dan diameter pori. Fraksi hidrokarbon (C_7 - C_{12}) pada variasi P40 didapatkan 93,31% merupakan variasi optimum karena memiliki nilai kalor lebih tinggi dan kandungan aromatik yang besar dibandingkan variasi P100. Karakteristik fisik bahan bakar cair yang dihasilkan memiliki densitas 0,735 g/ml, titik nyala 14,2 °C, nilai kalor 14.474,15 Kal/g. Karakteristik bahan bakar cair yang dihasilkan sesuai dengan SNI 06-3506-1994.

Pada penelitian sebelumnya oleh Juwono dkk., (2017) telah disintesis biodiesel dari minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) melalui transesterifikasi dengan katalis Al-MCM-41 dihasilkan biodiesel sebesar 98,15%. Biodiesel yang diperoleh kemudian dicampur dengan bahan bakar solar komersial dengan variasi yaitu (0, 10, 20, 30 dan 100%) diuji pada mesin diesel dengan tenaga mesin optimal dicapai dengan 10% biodiesel. Campuran 10% biodiesel memiliki kinerja seperti diesel komersial, namun terjadi penurunan kinerja pada beban 1.800 watt. Beban yang cukup rendah dapat menimbulkan efisiensi termal (BTE) bahan bakar cair juga rendah.

Kinerja bahan bakar cair hasil perengkahan selanjutnya akan diaplikasikan dalam mesin gasolin untuk mengetahui

bagaimanakah efisiensi termal (BTE) yang dapat dihasilkan bahan bakar. Pada penelitian ini diproduksi campuran bahan bakar cair dengan komposisi 90% premium dengan 10% BBC hasil perengkahan pada setiap variasi *feedstock*. Penambahan aditif metil tersier butil eter (MTBE) diharapkan akan memberi kinerja terbaik bahan bakar cair dalam mesin gasolin. Aditif MTBE sebagai sumber oksigen diharapkan dapat meningkatkan karakteristik fisik dan efisiensi termal (BTE) campuran bahan bakar cair apabila diaplikasikan dalam mesin gasolin.

1.3 Batasan Masalah

Produksi bahan bakar cair dari limbah plastik PP dengan ko-reaktan biodiesel minyak biji nyamplung hasil konversi katalitik dengan katalis Al-MCM-41 : Keramik Busi (7:3). Penelitian ini dilakukan pada temperatur 300°C selama 2 jam. *Feedstock* divariasi % volume limbah plastik polipropilen (P) dengan biodiesel minyak biji nyamplung (N) dengan volume total 300 mL dengan komposisi *feedstock* sebagai berikut,

(100% (P) : 0% (N) sehingga dapat disebut BBC jenis PN0, 80% (P) : 20% (N) BBC jenis PN20, 60% (P) : 40% (N) BBC jenis PN40, 50% (P) : 50% (N) BBC jenis PN50, dan 40% (P) : 60% (N) BBC jenis PN60). Pengujian secara kimia dilakukan menggunakan *Gas Chromatography - Mass Spectrometry* (GC-MS) untuk mengetahui perolehan *yield* fraksi hidrokarbon yang terdapat pada bahan bakar cair hasil perengkahan. Bahan bakar cair kemudian dikarakterisasi sifat fisiknya meliputi titik nyala, densitas dan nilai kalor dibandingkan dengan SNI 06-3506-1994.

Campuran bahan bakar cair diproduksi dengan komposisi (BBC perengkahan : Premium (RON 88), 10% : 90%). Campuran bahan bakar cair ditambahkan 2,45% metil tersier butil eter (MTBE). Campuran bahan bakar cair berturut turut disebut campuran bahan bakar cair jenis CPN0, CPN20, CPN40, CPN50,

CPN60 dan TCPN0 (tanpa aditif) yang akan diuji karakteristik fisik dan kinerja bahan bakar cair yang dapat dihasilkan pada mesin generator set gasolin. Variabel (N) menunjukkan persen (%) variasi *feedstock* biodiesel minyak biji nyamplung.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memproduksi bahan bakar cair hasil konversi katalitik dari limbah plastik polipropilena dengan ko-reaktan biodiesel minyak biji nyamplung dengan fraksi hidrokarbon (C_7 - C_{20}) yang sesuai dengan standar bahan bakar cair gasolin serta penambahan aditif metil tersier butil eter (MTBE) untuk meningkatkan kinerja campuran bahan bakar cair terhadap efisiensi termal (BTE) dalam generator set mesin gasolin.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa

1. Memanfaatkan sumber minyak non-edible dan limbah plastik sebagai bahan bakar alternatif mengurangi pemakaian bahan bakar fosil.
2. Memberikan informasi mengenai pengaruh penambahan aditif metil terseir butil eter terhadap kinerja campuran bahan bakar cair hasil perengkahan katalitik.

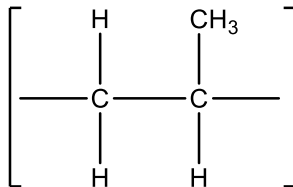
“Halaman Sengaja Dikosongkan”

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Polipropilen

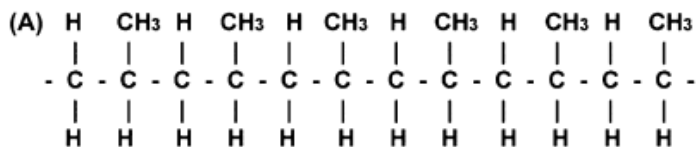
Polipropilen (PP) adalah salah satu jenis plastik yang paling banyak diproduksi di dunia. Polipropilen diolah dari proses destilasi minyak bumi, sekitar 55 juta ton polipropilen telah diproduksi hingga saat ini. Polipropilen sendiri memiliki sifat yang tahan terhadap suhu tinggi, tahan terhadap kimia, kuat, transparan, isolator yang baik, mudah dibuat, dan berat jenis rendah (Kalargaris dkk., 2018; Li, 2014). Polipropilen adalah polimer dari golongan *polyolefin* yang berasal dari pendinginan gas hasil pemecahan (*cracking*) minyak bumi. Polimer ini terbentuk dari dari proses polimerisasi adisi. Polipropilena (PP) adalah sejenis alifatik jenuh (rantai lurus, tanpa ada ikatan rangkap pada atom karbon) tersusun atas monomer propilena seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1 (Wagner, 2010).



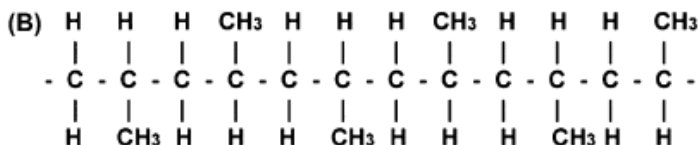
Gambar 2.1 Struktur Monomer Polipropilena (Wagner, 2010)

Polipropilena ditemukan dalam tiga bentuk konfigurasi stereoisomernya yang spesifik yaitu Popipropilena isotaktik, Popipropilena sindiotaktik dan Popipropilena ataktik. Pembagian tersebut didasarkan pada letak atom karbon dan gugus metil dalam rantai molekul. Gugus metil hanya berada di satu sisi rantai polimer menghasilkan polipropilena isotaktik. Bila gugus metil ini bergantian dari satu sisi ke sisi lainnya, polimer tersebut dikenal sebagai sindiotaktik. Urutan kelompok metil acak menciptakan polimer ataktik ditunjukkan pada Gambar 2.2. Polipropilena isotaktik memiliki titik leleh pada 171°C, tetapi Polipropilena

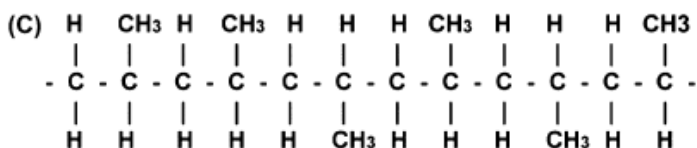
sindiotaktik kristalinitas sebesar 30% dengan titik leleh pada suhu 130°C (Maddah, 2016). Taktik polimer digunakan untuk mendefinisikan sifat polimer seperti, distribusi berat molekul, derajat kristalinitas dan metode polimerisasi (Wagner, 2010).



Polipropilen Isotaktik



Polipropilen Sindiotaktik



Polipropilen Ataktik

Gambar 2.2 Taktisitas Polipropilen : (A) Isotaktik, (B) Sindiotaktik, dan (C) Ataktik (Wagner, 2010)

Polipropilen banyak digunakan pada kemasan makanan, alat rumah tangga, botol plastik, bagian kendaraan dan juga film. Limbah dari polipropilen dapat dikonversi menjadi bahan bakar minyak. polipropilen melalui perengkahan katalitik akan dikonversi menjadi bahan bakar minyak dengan efisiensi dan jumlah produk yang dihasilkan lebih banyak. Pada penelitian sebelumnya polipropilen dikonversi menjadi bahan bakar cair menggunakan katalis zeolite USY menghasilkan 60,6 %, dengan katalis Al-SBA-15 menghasilkan 74,6%, dengan MCM-22

menghasilkan 37,7%, dengan zeolite alam menghasilkan 75,4% (Kassargy dkk., 2017; Jiraroj dkk., 2016; Miandad dkk., 2017).

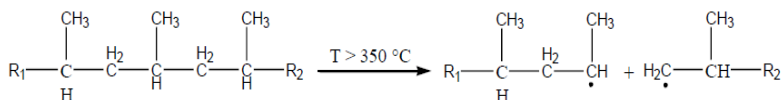
2.2 Perengkahan

Konversi plastik menjadi bahan bakar cair melalui proses perengkahan atau pirolisis yaitu proses pemecahan hidrokarbon dengan rantai panjang akan diputus menjadi massa molekul hidrokarbon relatif yang sederhana (rantai pendek) (Wahyudi dkk., 2016). Pada proses pirolisis produk yang dihasilkan bergantung pada faktor *feedstock* yang digunakan seperti biomassa, plastik atau komposisi dari keduanya pada proses dekomposisi ini akan menghasilkan uap, cairan dan arang. Setelah pendinginan dan kondensasi, cairan coklat terbentuk memiliki nilai kalor setengah dari bahan bakar konvensional (Heydariaraghi dkk., 2016)

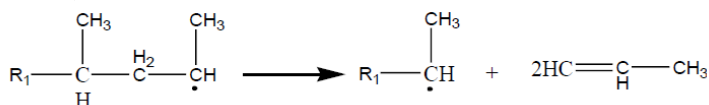
2.2.1 Perengkahan Termal

Pada perengkahan dengan suhu tinggi hidrokarbon rantai panjang akan menjadi fraksi-fraksi radikal bebas yang cenderung akan terjadi obligasi. pada tahap awal perengkahan termal akan melalui proses inisiasi pembentukan karbokation atau radikal bebas (Sibarani, 2012).

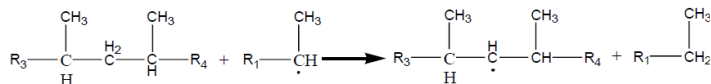
Tahap 1 : terbentuknya radikal



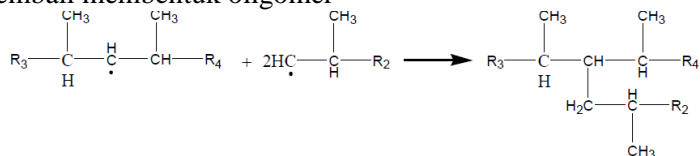
Tahap 2 : terjadi pemotongan pada posisi beta membentuk olefin (alkena) dan radikal baru



Tahap 3 : radikal yang dihasilkan pada tahap 2 menyerang polimer lain dan membentuk parafin (alkana) dan radikal yang baru



Tahap 4 : radikal akan saling bertemu mengalami polimerisasi kembali membentuk oligomer

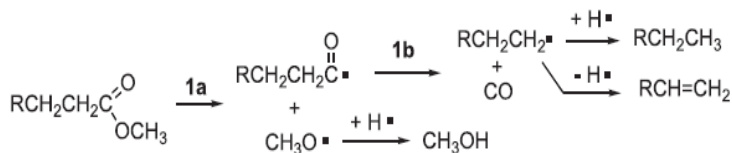


(Sibarani, 2012)

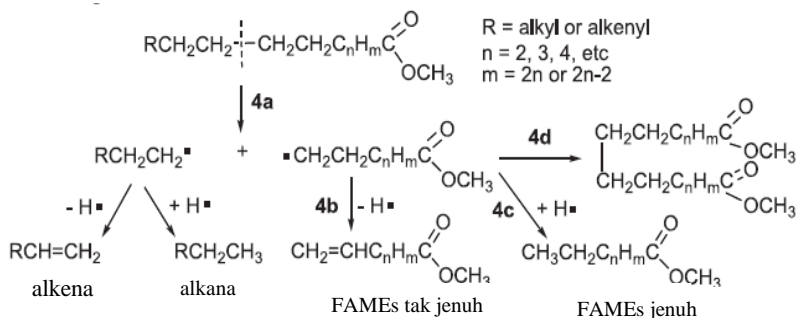
Pada temperatur $> 350^\circ\text{C}$ plastik akan berubah menjadi gas. Proses pendinginan dilakukan pada gas yang akan terkondensasi dan membentuk cairan. Cairan tersebut yang nantinya menjadi bahan bakar berupa bensin (Sibarani, 2012).

Perengkahan termal dengan dekomposisi *Free Acid Metyl Esther* (FAME) pada suhu yang tinggi dapat diketahui pada prinsip dekarboksilasi dan pembentukan senyawa radikal. Perengkahan FAME didominasi dengan pemotongan antara ikatan rantai karbon-karbon. Terdapat lima laju probabilitas perengkahan pada senyawa metil ester.

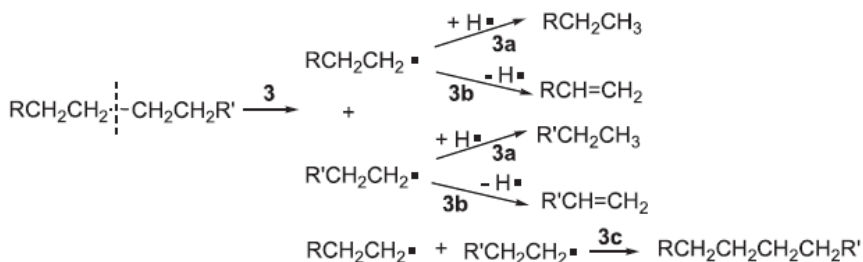
1. Dekarboksilasi



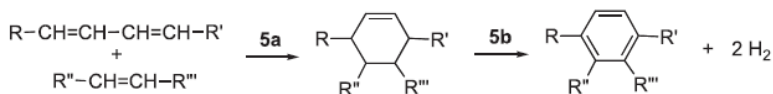
2. Reaksi dimetilasi (2a,b) dan reaksi dekarboksilasi/dekanisasi (2c,d) antara gugus fungsi ester. Perengkahan hidrokarbon yang berasal dari reaksi 1b, 2c dan 2d



3. Perengkahan *Free Acid Metyl Esther* (FAMES)



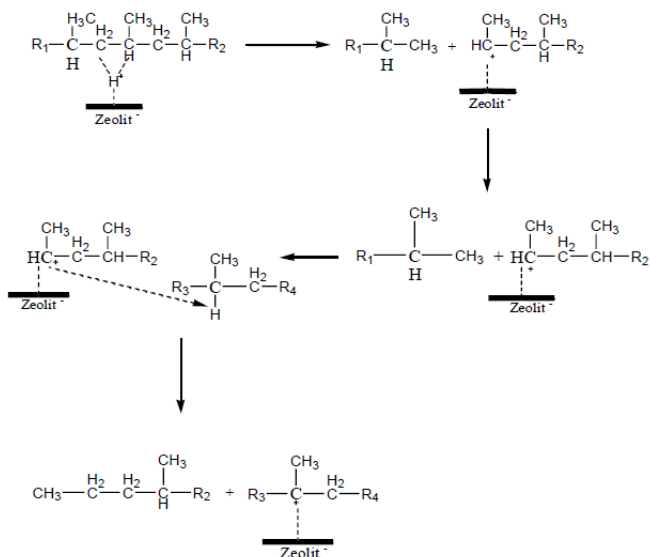
5. Reaksi Diers-Alder



Proses perengkahan termal pada FAMES akan menentukan yield produk bio-oil dan menentukan fraksi hidrokarbon yang terbentuk dari proses perengkahan. Namun tidak seperti pada minyak nabati yang memiliki jumlah asam lemak bebas (Seames dkk., 2010).

2.2.2 Perengkahan Katalitik

Perengkahan katalitik didefinisikan sebagai proses perengkahan yang dioperasikan pada temperatur moderat dengan adanya katalis heterogen. Perengkahan katalis merupakan proses yang fleksibel dengan tujuan utama untuk merengkah dengan bahan baku yang sedikit menjadi cairan dengan jumlah yang banyak. Pada proses perengkahan katalitik dapat diperoleh larutan hidrokarbon, gas hidrokarbon ringan dan juga kokas dengan fraksi yang lebih berat dapat terbentuk. Produk perengkahan katalitik pada dasarnya sama dengan perengkahan termal namun penggunaan katalis berfungsi untuk meningkatkan efisiensi proses. Adanya katalis dalam proses perengkahan dapat menurunkan energi yang diperlukan dibandingkan tanpa katalis. Katalis dapat mempercepat waktu reaksi dan dapat mengontrol produk yang dihasilkan (Mao dkk., 2013).

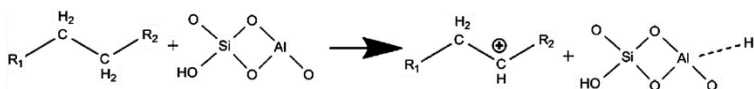


Gambar 2.3 Mekanisme Perengkahan Katalitik Polipropilen dengan Zeolit (Sibarani, 2012)

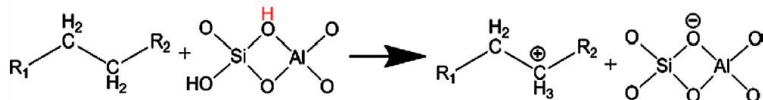
Perengkahan katalitik merupakan reaksi katalis asam heterogen. Gambar 2.3 menunjukkan perengkahan katalitik terjadi ketika reaktan mencapai sisi aktif pada permukaan katalis. Tahap yang terjadi pada perengkahan katalitik terbagi atas tahap inisiasi yang merupakan pembentukan karbokation. Karbokation memiliki selektifitas yang lebih tinggi daripada radikal bebas. Reaksi pembentukan karbokation dibantu oleh katalis asam material berpori seperti zeolite atau silika – alumina. Berikut cara – cara dalam pembentukan karbokation dengan zeolit:

Berikut beberapa mekanisme pembentukan karbokation dengan katalis alumina silikat:

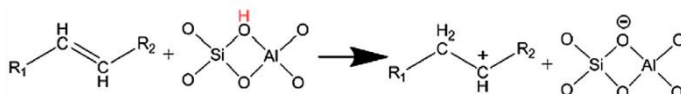
Pengambilan ion hibrida oleh Asam Lewis pada hidrokarbon jenuh



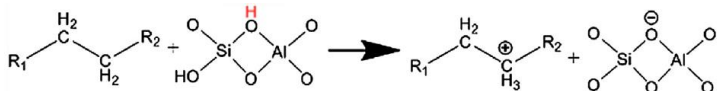
a. Karbokation oleh asam Bronsted pada hidrokarbon jenuh



b. Karbokation oleh asam Bronsted pada hidrokarbon tak jenuh



c. Ion karbonium juga dapat terkonversi menjadi ion karbenium dengan kehilangan molekul hidrogen.



Parafin

Situs Asam
Bronsted



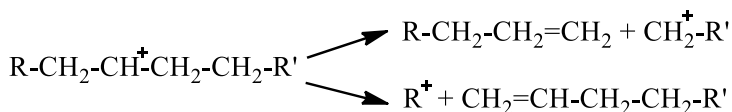
Setelah tahap inisiasi, terdapat beberapa kemungkinan transformasi dari karbokation (ion karbonium) yang terbentuk (Mao dkk., 2013).

2.2.2.1 Desorpsi Olefin

Ion Karbonium yang terbentuk pada sisi aktif asam (Bronsted/Lewis) akan terdesorpsi sebagai olefin dan kembali menjadi sisi aktif. Jika turunan karbonium dari koordinasipenta ion karbonium, maka hal ini merupakan mekanisme perengkahan Haag-Dessau, juga dikenal sebagai mekanisme perengkahan mono molekuler. Reaksi dilakukan pada temperatur tinggi, pada konversi rendah dan tekanan parsial hidrokarbon yang rendah, dan menggunakan zeolite dengan indeks konstrain yang tinggi seperti zeolite ZSM-5.

2.2.2.2 Pemotongan Beta (β)

Ion karbenium mengalami perengkahan pemotongan- β , mengacu pada pembentukan olefin yang lebih kecil dan ion karbenium yang lebih kecil. Pemotongan- β pada C-C dapat terjadi pada sisi lain dari ion karbenium.



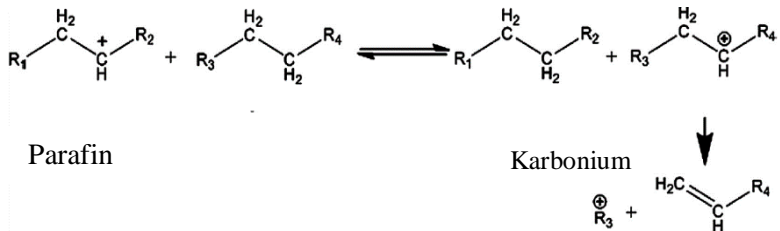
2.2.2.3 Reaksi Lainnya

Ion karbenium yang teradsorb dapat mengalami berbagai tipe reaksi seperti pemindahan hidrogen, isomerisasi, aromatisasi, kristalisasi, polimerisasi dan lain – lain.

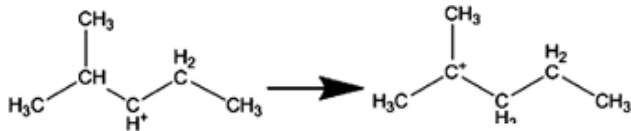
a. Pemindahan hidrogen

Ion karbenium yang teradsorb dapat berinteraksi dengan molekul paraffin netral melalui pemindahan hidrida. Reaksi bimolekuler ini menyebabkan pembentukan ion karbenium baru, yang mana mengalami perengkahan pemutusan- β . Perbedaannya dengan reaksi perengkahan monomolekuler, reaksi bimolekuler terjadi pada temperatur

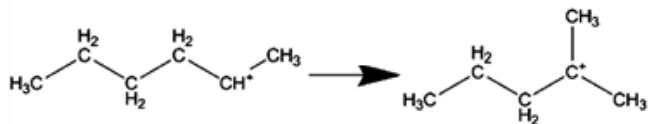
rendah, pada tekanan parsial hidrokarbon rendah, dan menggunakan zeolit dengan indeks konstrain rendah dan situs asam densitas tinggi seperti Zeolit Y. Isomerisasi dari ion karbenium yang teradsorpsi melalui pergeseran hidrida atau pergeseran metil dapat menyebabkan pembentukan ion karbenium yang lebih stabil.



Gambar 2.4 Mekanisme Reaksi Pemindahan Hidrogen pada Karbonium (Mao dkk., 2013)



Gambar 2.5 Reaksi Isomerisasi pada Perpindahan Hidrogen (Mao dkk., 2013)



Gambar 2.6 Reaksi Isomerisasi pada Perpindahan Metil (Mao dkk., 2013)

2.3 Biofuel

Biofuel adalah bahan bakar berupa cairan atau gas untuk keperluan sumber energi yang diproduksi dari biomassa. Biomassa

sendiri adalah bahan baku utama pembuatan biofuel yang berasal dari bahan organik seperti lignoselulosa, minyak nabati, limbah organik dan masih banyak lagi. Berbeda dengan bahan bakar yang banyak kita kenal saat ini yaitu bahan bakar minyak (BBM), seperti premium, pertamax, solar, maupun minyak diesel industri yang termasuk kelompok *fossil energy*. *Biofuel* mempunyai sifat dapat diperbaharui, yang artinya bahan bakar ini dapat dibuat oleh manusia dari bahan-bahan yang bisa ditumbuhkan atau dikembangkan (Fransiska, 2012). *Biofuel* generasi pertama terdiri atas biodiesel, bioetanol dan bio hidrogen berasal dari minyak nabati, dan glukosa, sementara *biofuel* generasi kedua berasal dari biomassa lignin, hemiselulosa dan selulosa. Gas CO₂ yang dihasilkan dari penggunaan *biofuel* kuantitasnya tidak lebih banyak dari gas CO₂ pada proses fotosintesis. Namun siklus karbon masih dapat seimbang adalah alasan utama penggunaan *biofuel* dari pada penggunaan bahan bakar fosil sumber karbon berasal dari bawah litosfer bumi (Stocker, 2008). *Biofuel* dapat diproduksi melalui beberapa metode yaitu gassifikasi, *dying*, pirolisis, fermentasi dan esterifikasi (Barker, 2017).

2.3.1 Biokerosin

Biokerosin adalah bahan bakar alternatif dari bahan minyak nabati sebagai pengganti kerosin dan avtur. Kerosin dan avtur adalah campuran hidrokarbon yang tidak berwarna, mudah terbakar, dan memiliki rentang temperatur didih 150°C dan 320°C. komponen pembentuk kerosin dan avtur adalah senyawa hidrokarbon parafinik dan naftenik dengan rentang panjang hidrokarbon C₂₀ sampai C₁₅. Minyak nabati yang dihasilkan dari jarak, coledendrum, kelapa, bunga matahari, kedelai dan beberapa tumbuhan kacang-kacangan ditemukan asam lemak bebas sebagai komponen *biofuel* yang ditemukan dalam bahan bakar jet (Fransiska, 2012).

2.3.2 Biogas

Biogas adalah gas yang dihasilkan dari penguraian bahan organik oleh bakteri. Penguraian ini terjadi di ruang yang kedap udara atau tanpa udara, jadi prosesnya terjadi secara anaerobik. Bahan organik yang bisa dijadikan biogas diantaranya daun-daunan, kotoran hewan ternak (sapi, kambing, ayam) atau bahan organik yang mudah hancur. Gas yang banyak dihasilkan dari penguraian bahan organik adalah gas metan dan gas karbondioksida. Tetapi gas yang hanya bisa dipakai sebagai sumber energi adalah gas metan. Gas metan ini bisa dimanfaatkan untuk memasak, menghasilkan listrik, menghidupkan lampu atau menghangatkan ruangan. *Biogas* adalah sumber energi yang dapat diperbaharui (*renewable energy*) karena sampah organik selalu ada dan tersedia setiap waktu. Berbeda halnya dengan bahan bakar fosil seperti batu bara, gas elpiji dan minyak bumi seperti bensin atau solar yang suatu saat akan langka dan habis (Fransisca, 2012).

2.3.3 Biodiesel

Biodiesel adalah metil ester turunan asam lemak ester yang berasal dari bahan yang tidak beracun seperti lemak hewan dan minyak nabati. Biodiesel dapat disintesis melalui transesterifikasi dengan menggunakan katalis basa dan melalui esterifikasi dengan menggunakan katalis asam (Badrudin dkk., 2014). Karakteristik dan jumlah biodiesel yang dihasilkan dalam setiap proses pembuatan berbeda-beda bergantung pada bahan utama yang digunakan. Dewasa ini *feedstock* biodiesel dibedakan menjadi 3 generasi. Generasi pertama bahan baku berasal dari minyak edible, generasi kedua bahan baku biodiesel berasal dari minyak non-edible dan generasi ketiga biodiesel dapat dibuat dari sumber lain seperti dari alga, minyak bekas dan lain-lain (Sakthivel dkk., 2018). *Feedstock* generasi biodiesel dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 *Feedstock* Pembuatan Biodiesel (Sakthivel dkk., 2018)

<i>Edible Oil (I)</i>	<i>Non-Edible Oil (II)</i>	<i>Other sources(III)</i>
<i>Rapeseed oil</i>	<i>Calophyllum inophyllum</i>	<i>Dunaliella salina algae</i>
<i>Palm oil</i>	<i>Jatropha curcus</i>	<i>Chlorella vulgaris algae</i>
<i>Sun flower oil</i>	<i>Jojoba</i>	<i>Botryococcus braunii</i>
<i>Castor oil</i>	<i>Thevetia peruviana</i>	<i>Waste cooking oil</i>
<i>Hazelnut oil</i>	<i>Aleutites fordii</i>	<i>Animal Tallow oil</i>
<i>Rice bran oil</i>	<i>Cerbera odollam</i>	<i>Chicken fat oil</i>
<i>Cotton seed oil</i>	<i>Crambe abyssinica</i>	<i>Poultry fat oil</i>
<i>Tigernut oil</i>	<i>Sapindus mukorossi</i>	<i>Biomass Pyrolysis oil</i>
<i>Raddish oil</i>	<i>Mahua indica</i>	<i>Fish oil</i>
<i>Walnut oil</i>	<i>neem</i>	
<i>Cashewnut oil</i>	<i>Rubber seed</i>	
<i>Pistachio oil</i>	<i>Nicotiana tabacum</i>	
<i>Soyabean oil</i>	<i>Babassu tree</i>	
<i>Mustard oil</i>	<i>Karanja</i>	
	<i>Nagchampa</i>	
	<i>Petroleum Nut</i>	

Feedstock generasi kedua sangat berpotensi sebagai bahan baku biodiesel dikarenakan lebih murah dan kesediaan bahan lebih melimpah. *C. Inopyllum* sebagai *feedstock* generasi kedua memiliki yield diatas 70%. Namun biodiesel yang berasal dari minyak nabati memiliki sifat dengan viskositas yang tinggi, nilai kalor rendah, titik didih dan titik nyala yang tinggi. Kadar asam lemak yang tinggi pada minyak nabati dapat merusak mesin diesel sehingga perlu diproses terlebih dahulu melalui proses transesterifikasi dan perengkahan (Peer dkk., 2017).

2.4 Tanaman Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*)

Calophyllum inophyllum adalah tumbuhan berukuran medium termasuk dalam keluarga *Clusiaceae*. Tumbuhan ini di Indonesia dikenal dengan nama tanaman nyamplung. Tumbuhan nyamplung tersebar luas di seluruh dunia mulai dari Madagaskar, Afrika Timur, Asia Tenggara, Jepang, Pasifik, India dan Amerika Selatan. Di Indonesia tumbuhan nyamplung tumbuh disepanjang pesisir pantai sebagai pemecah angin ditemukan mulai dari Sumatera Barat, Riau, Jampi, Lampung, Kalimantan, Jawa, hingga Indonesia bagian Timur. Tumbuhan nyamplung dapat hidup dengan maksimal pada kawasan beriklim tropis dengan kondisi hangat dan curah hujan dari 750 sampai 5000 mm. Tanaman nyamplung tumbuh diatas berbagai kondisi tanah termasuk tanah berpasir, kapur dan lempung. Tanaman ini akan tumbuh dengan baik dengan mendapatkan jumlah sinar matahari yang optimal (Friday dan Okada., 2006).

Tanaman nyamplung berukuran medium dengan cabang utama yang menyebar dengan percabangan tidak beraturan. Tanaman ini dapat tumbuh mencapai 8-20 meter beberapa ada yang tumbuh hingga 35 meter dengan diameter 0,5 – 1,5 meter. Batang biasanya memutar dan rendah diatas permukaan tanah yang memiliki getah lengket yang transparan, putih, kecoklatan hingga kuning kehitaman. Kulit luar memiliki karakteristik berbentuk permata sampai berbentuk perahu. Celah pada permukaan pohon akan semakin rapat, halus dengan warnai kekuningan seiring bertambahnya usia tanaman. Kulit bagian tebal, halus, kuat, berserat dan berlapis-lapis dengan warna merah mudah sampai merah, hitam sampai brownish apabila dibuka. Morfologi bagian tumbuhan nyamplung dapat dilihat pada Gambar 2.7. Daun berwarna hijau tua mengkilat dengan luas 10 sampai 18 x 7,5 cm berbentuk bulat panjang dan berlekuk di puncak daun bergelombang dan tulang daun tampak jelas. Bunga nyamplung

memiliki diameter 25 mm dengan bergugus atau panikulanya berkembang dengan jumlah 4-15 bunga dan buah yang tumbuh pada kuncup dorman pada ketiak daun teratas. Buahnya berbentuk bulat seperti peluru dengan bagian ujung meruncing, berwarna hijau terusi, pada saat tua warnanya menjadi kekuningan. Kulit biji yang tipis lambat laun akan menjadi keriput dan mudah mengelupas. Biji yang tersisa berupa daging buah berbentuk bulat dengan ujung meruncing, mengandung minyak berwarna kuning, terutama jika dijemur (Warrier dkk., 2010; Onga dkk., 2011).

Minyak yang dihasilkan oleh tanaman nyamplung tidak dapat dikonsumsi dikarenakan mengandung getah perlu diolah terlebih dahulu. Minyak nyamplung sudah banyak diaplikasikan dalam dunia industri sebagai kosmetik, obat-obatan dan bahan bakar nabati berupa biodiesel (Bora dkk., 2008).



Gambar 2.7 Bagian Tumbuhan Nyamplung Daun (a), Biji (b), Bunga (c) dan batang (d)

2.5 Biodiesel Minyak Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*)

Minyak non-edible dari biji nyamplung merupakan *feedstock* biodiesel generasi kedua yang sangat berpotensi sebagai sumber bahan bakar alternatif dan banyak tumbuh di Indonesia. Biji nyamplung kering dapat menghasilkan minyak mentah sebesar 40-75% dibandingkan sumber nabati non-edible lainnya, sementara kandungan minyak pada biji jarak hanya sekitar 40-60% (Yadav dkk., 2016). Beberapa keuntungan lain dari pada penggunaan jarak hasil selama penanaman yang dilakukan dengan kerapatan 400 pohon/ha didapatkan sekitar 4.680 kg minyak/ha lebih tinggi dari pada minyak yang diperoleh dari tanaman jarak yang hanya 1.560 kg minyak/ha, dengan titik didih total dari *Free Acid Metyl Ester* (FAME) dan cocok dengan standar biodiesel ASTM D6751 and EN 14214. Bahan baku minyak nyamplung yang murah dengan kandungan FFA yang tinggi dapat mengurangi biaya pembuatan biodiesel (Nanthagopal dkk, 2016).

Minyak nyamplung yang diperoleh dari proses ekstraksi memiliki kandungan getah berwarna kuning gelap, trigliserida dengan nilai asam tinggi antara (44 mg KOH/g dan 59,30 mg KOH/g) (Atabani dan Cesar., 2014, Ong dkk., 2014). Minyak nyamplung mentah memiliki viskositas yang tinggi 53.17 mm²/s pada suhu 40 ° C dan titik nyala 195.5 ° C sehingga dapat menghambat pembakaran dan masuknya bahan bakar pada mesin diesel (Ong dkk., 2014). Selain itu minyak nyamplung memiliki kandungan asam lemak bebas yang sangat tinggi seperti asam palmitat, asam stearat, asam oleat dan asam linoleate. Beberapa asam lemak bebas dalam minyak nyamplung dapat dilihat pada Tabel 2.2. Kandungan asam lemak yang tinggi dalam minyak nyamplung harus diolah dengan tepat untuk meningkatkan kualitas biodiesel yang baik dan produk yield yang besar.

Tabel 2.2 Kadar FFA dalam Minyak Nyamplung (Ong dkk., 2014)

Asam Lemak	Rumus Molekul	% Berat
Asam Laurat	$C_{12}H_{24}O_2$	0,1
Asam Miristat	$C_{14}H_{28}O_2$	0,1
Asam Palmitat	$C_{16}H_{32}O_2$	14,2
Asam Sapienat	$C_{16}H_{30}O_2$	0,3
Asam Stearat	$C_{18}H_{36}O_2$	15,9
Asam Oleat	$C_{18}H_{34}O_2$	39,8
Asam Linoleat	$C_{18}H_{32}O_2$	28,1
Asam Linolenat	$C_{18}H_{30}O_2$	0,2
Asam Arakhidat	$C_{20}H_{40}O_2$	0,8
Asam Lemak Jenuh		31,1
Asam Lemak Tak Jenuh		68,5

Pengolahan minyak nyamplung mentah menjadi biodiesel melewati beberapa tahap untuk menghilangkan kandungan getah dan mengurangi kadar FFA yang tinggi yaitu:

1. *Degumming*

Getah yang mengandung fosfat, protein, karbohidrat dan kotoran. Metode ini dilakukan untuk meningkatkan stabilitas oksidasi produk akhir, minyak yang dihasilkan akan terpisah dengan getah dalam proses *degumming*. Pada proses ini minyak nyamplung mentah dipanaskan pada suhu 60°C dan diaduk dengan kecepatan 500 ppm. Penambahan asam fosfat (H_3PO_4 , konsentrasi 20%) sebanyak 0,5 % volume selama 30 menit. Asam fosfat dan getah akan terpisah dibagian bawah sementara minyak nyamplung akan berada diatas. karakteristik minyak nyamplung setelah proses *degumming* dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Karakteristik Minyak Nyamplung Sebelum dan Sesudah *Degumming* (Ong dkk., 2014).

Sifat fisik	Minyak Nyamplung	
	Sebelum <i>degumming</i>	Sesudah <i>degumming</i>
Viskositas (40°C, mm ² /s)	53,17	43,96
Densitas (15°C, kg/m ²)	951	949
FFA (%)	29,65	21,47
Bilangan asam (mg KOH/g)	59,3	42.94
Titik nyala (°C)	195,5	188,5
Derajat keasaman (pH)	3,93	4,27
Indeks Refraksi	1,479	1,4639
Absorbansi	0,582	0,099
Warna	Hijau Tua	Kuning

2. Esterifikasi

Minyak nyamplung yang telah melewati proses *degumming* memiliki kandungan FFA tinggi dengan karakteristik viskositas tinggi. Melalui proses esterifikasi menggunakan metanol dengan katalis asam sulfat (H₂SO₄) dapat mengurangi kandungan FFA sebesar 2% berat sehingga terbentuk *Free Acid Metil Ester* (FAME). Proses esterifikasi dilakukan pada suhu 60°C dengan kecepatan 1150 rpm (Ong dkk., 2014).

3. Transesterifikasi

Transesterifikasi adalah reaksi lemak atau minyak dengan alkohol membentuk metil ester dan gliserol dengan bantuan katalis. Pada proses transesterifikasi menggunakan katalis basa (NaOH) yang dilarutkan terlebih dahulu dalam metanol. Metanol yang digunakan adalah 9:1 pada keadaan temperature kritis metanol yaitu 60°C dengan kecepatan 1150 rpm selama 2 jam.

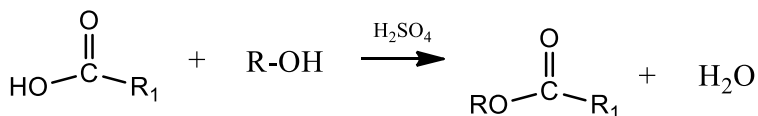
Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan sintesis biodiesel dari minyak nyamplung dengan metode esterifikasi,

transesterifikasi atau menggunakan kedua metode tersebut menggunakan berbagai katalis. Biodiesel nyamplung di esterifikasi dengan katalis 1,5% volume minyak H_2SO_4 , kemudian di transesterifikasi dengan katalis 1% berat minyak KOH menghasilkan yield sebesar >90% (Fattah dkk., 2014). Biodiesel nyamplung juga diproduksi dengan ekstraksi minyak mentah dengan cara disoklet kemudian di esterifikasi menggunakan katalis asam H_2SO_4 kemudian pada proses kedua ditambahkan katalis basa CH_3ONa didapatkan persentasi konversinya sebesar 93,05% (Jahirul dkk., 2015).

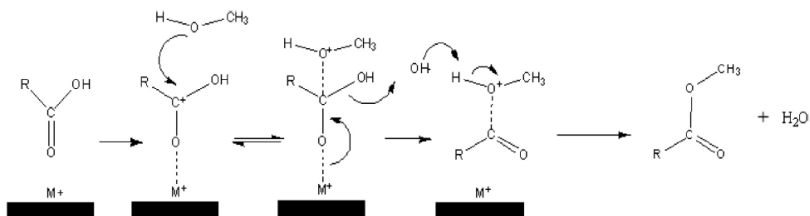
2.6 Esterifikasi-Transesterifikasi

Esterifikasi adalah tahap konversi asam lemak bebas menjadi ester. Esterifikasi mereaksikan minyak lemak dengan alkohol. Esterifikasi biasa dilakukan untuk membuat biodiesel dari minyak berkadar asam lemak bebas (FFA) tinggi yaitu diatas 1% dengan kadar air 0,5% sehingga dapat menghalangi terjadinya proses saponifikasi. Katalis yang digunakan bersifat asam seperti asam sulfat, asam sulfonat organik dan beberapa asam Lewis atau browsted. Pada tahap ini, asam lemak bebas akan dikonversikan menjadi metil ester agar reaksi bisa berlangsung ke konversi yang sempurna tahap esterifikasi menggunakan suhu *supercritical* dari jenis alkohol yang digunakan (misalnya paling tinggi 120°C), reaktan metanol harus ditambahkan dalam jumlah yang sangat berlebih (biasanya lebih besar dari 10 kali nisbah stokiometrik) dan air produk ikutan reaksi harus dipisahkan dari fasa reaksi, yaitu fasa minyak (Lamba dkk., 2017). Tahap esterifikasi biasa diikuti dengan tahap transesterifikasi. Namun sebelum produk esterifikasi diumpankan ke tahap transesterifikasi, air dan bagian terbesar katalis asam yang dikandungnya harus dipisahkan terlebih dahulu melalui evaporator. Setelah tahap esterifikasi kandungan FFA dapat turun hingga 0,5 % berat (Berrios dkk., 2010) Tahap reaksi

esterifikasi menggunakan katalis asam sulfat dan asam Lewis dapat ditinjau pada Gambar 2.8 dan Gambar 2.9.



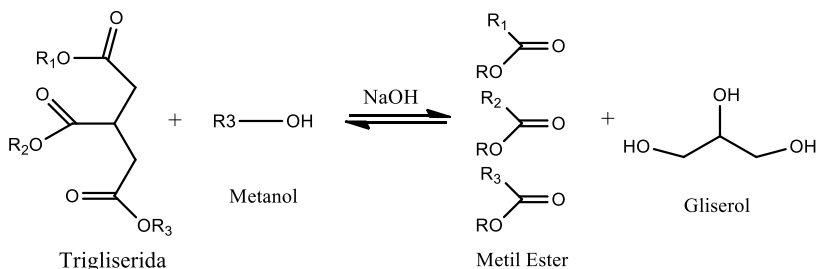
Gambar 2.8 Reaksi Esterifikasi dengan Katalis Asam Sulfat



Gambar 2.9 Reaksi Esterifikasi dengan Katalis Asam Lewis (Marso dkk., 2017)

Transesterifikasi adalah tahap konversi dari trigliserida (minyak nabati) menjadi alkil ester melalui reaksi dengan alkohol dan menghasilkan produk samping yaitu gliserol. Di antara alkohol-alkohol monohidrik yang menjadi kandidat sumber/pemasok gugus alkil, metanol adalah yang paling umum digunakan, karena harganya murah dan reaktifitasnya paling tinggi (sehingga reaksi disebut metanolisis). Jadi, di sebagian besar dunia ini biodiesel praktis identik dengan ester metil asam-asam lemak (Fatty Acids Metil Ester, FAME). Transesterifikasi juga menggunakan katalis dalam reaksinya. Tanpa adanya katalis konversi yang dihasilkan maksimum namun reaksi berjalan dengan lambat (Mittlebatch, 2004).

Katalis yang biasa digunakan pada reaksi transesterifikasi adalah katalis basa, karena katalis ini dapat mempercepat reaksi. Reaksi transesterifikasi trigliserida menjadi metil ester adalah:



Gambar 2.10 Reaksi Transesterifikasi dengan Katalis Basa (Gauraf dkk., 2016)

Reaksi transesterifikasi sebenarnya berlangsung dalam 3 tahap yaitu sebagai berikut:

1. Reaksi Trigliserida, reaksi trigliserida dengan alkohol dengan katalis basa sehingga membentuk produk metil ester dan digliserida.
2. Reaksi Digliserida, reaksi digliserida dengan alkohol dengan katalis basa sehingga membentuk produk metil ester dan monogliserida.
3. Reaksi monogliserida, reaksi monogliserida dengan alkohol dengan katalis basa sehingga membentuk produk metil ester dan gliserol.

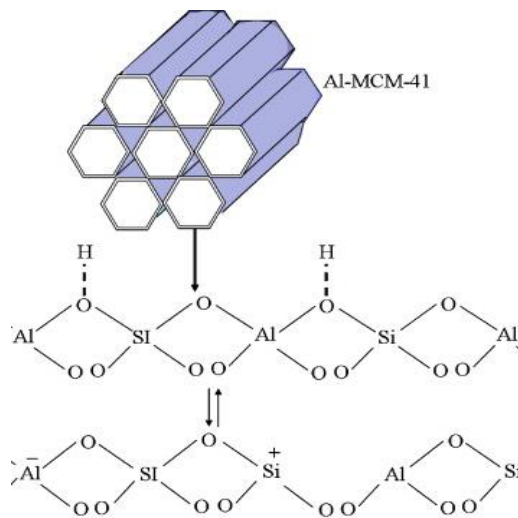
Pada tahap pemisahan menggunakan corong pisah metil ester yang terbentuk akan berada diatas sementara gliserol akan berada paling bawah (Soto dkk., 2012).

2.7 Katalis Al-MCM-41

Al-MCM-41 adalah katalis dengan yang memiliki sifat asam Lewis material silika mesopori MCM-41 sebagai cetakan. *Mobile Composition of Matter-41* (MCM-41) merupakan padatan mesopori yang tersusun dari silika amorf termasuk dalam family silika mesopori M41S, memiliki struktur heksagonal yang teratur dan seragam dengan bentuk pori heksagonal seperti sarang lebah. Material silika mesopori ini memiliki lebar pori (2-10 nanometer)

dengan luas permukaan kurang lebih 1.000 m²/g. MCM-41 memiliki sifat yang baik sebagai template atau katalis karena memiliki ketahanan termal yang baik, ukuran pori seragam dan ukuran partikel dapat disesuaikan (Gibson, 2014).

Penggunaan katalis MCM-41 banyak digunakan sebagai katalis adsorpsi, pemisahan senyawa dan katalis dalam industri perengkahan bahan bakar. Katalis MCM-41 memiliki sisi aktif asam sebagai perengkahan yang sangat minim, sehingga menyebabkan aktivitas katalis menjadi rendah. namun demi meningkatkan aktivitas katalis saat ini banyak penelitian menambahkan kation logam sebagai sisi asam Browsted (Antonakou dkk., 2006).



Gambar 2.11 Struktur Katalis Al-MCM-41 (Naik dkk., 2010).

Beberapa penelitian menambahkan logam aluminium untuk meningkatkan keasaman katalis dengan terbentuk *framework* Al-MCM-41. Modifikasi MCM-41 dengan logam Al memiliki luas permukaan yang besar dibandingkan dengan zeolite, sehingga molekul organik yang besar dapat berinteraksi dengan

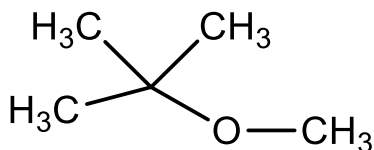
Al-MCM-41. Material Al-MCM-41 memiliki ukuran pori sebesar $0,78 \text{ cm}^3/\text{g}$ dan luas permukaan sebesar $877 \text{ m}^2/\text{g}$ (Naik dkk., 2010).

Al-MCM-41 yang memiliki kerangka alumunium silikat sangat cocok dalam reaksi organik dan perengkahan dengan senyawa hidrokarbon rantai panjang karena strukturnya yang amorf dan memiliki sisi aktif asam dengan luas permukaan yang besar. Penelitian yang dilaporkan oleh Araujo dkk (2017) melakukan produksi bahan bakar cair dengan katalis Al-MCM-41 dengan *feedstock* minyak bunga matahari melalui metode perengkahan termal dan katalitik. Katalis Al-MCM-41 dibuat dengan metode hidrotermal dengan menggantikan logam silika dengan logam alumunium pada template MCM-41 didapatkan luas permukaan $857,7 \text{ m}^2/\text{g}$ dengan rasio Si/Al sebesar 50. Minyak nabati hasil perengkahan katalitik dari minyak bunga matahari memiliki karakteristik sama dengan bahan bakar diesel.

2.8 Metil Tersier Butil Eter (MTBE)

Metil tersier butil eter (MTBE) atau biasa dikenal dengan nama IUPAC 2-metoksi-2-metil propane memiliki rumus molekul ($\text{C}_5\text{H}_{12}\text{O}$) dengan berat molekul 88,15 mol/gr. Struktur Lewis dari metil tersier butil eter dapat dilihat pada Gambar 2.12. MTBE adalah salah satu senyawa organik turunan dari senyawa alkana yang tidak berwarna, berbau menyengat dan mudah terbakar. MTBE dibuat melalui reaksi kimia antara isobutil dan metanol. Senyawa ini dapat larut dalam berbagai larutan asam, tidak larut sempurna dalam air dan sangat mudah larut dalam alkohol atau senyawa eter. MTBE memiliki karakteristik massa jenis sebesar $0,74 \text{ g/cm}^3$, memiliki titik nyala pada suhu -30°C . MTBE memiliki nilai LHV (*low heating value*) yang cukup rendah yaitu pada 35.100 kJ/kg lebih kecil dibandingkan bensin dengan RON 88 yang

memiliki nilai sebesar 44.000 kJ/kg. Nilai RON MTBE berkisar 116-118. (Luttrell, 2010; Topgül, 2015)



Gambar 2.12 Struktur Molekul Metil Tersier Butil Eter (MTBE)

MTBE adalah salah satu senyawa sumber oksigen sebagai campuran bahan bakar terutama bensin. MTBE pada saat ini banyak digunakan karena lebih ramah lingkungan dari pada bahan aditif lain seperti *Tetra Etilead* (TEL). Saat ini MTBE adalah senyawa beroksigen yang banyak digunakan sebagai bahan aditif dalam bensin di negara Amerika lebih dari 10% dan Benua Eropa (Yuan, 2006). Kandungan oksigen meningkatkan kualitas bahan bakar bensin yang akan digunakan dalam mesin pembakaran motor maupun mobil. Penggunaan MTBE sebagai aditif dalam bensin dapat mengurangi emisi terutama gas CO dan HC. MTBE sangat mudah bercampur dengan bensin digunakan untuk meningkatkan nilai oktan bahan bakar RON (*Research Octane Number*). Dengan meningkatnya nilai oktan bahan bakar bensin membuat ketukan pada mesin menjadi berkurang sehingga meningkatkan efisiensi pembakaran (Khalife dkk., 2017).

2.9 Co-pirolisis

Saat ini produksi bahan bakar cair dari proses perengkahan katalitik dan termal berkembang pesat dengan variasi *feedstock* sebagai sumber hidrokarbon. Co-pirolisis sejatinya banyak menggunakan biomassa dan minyak nabati sebagai sumber utama pembuatan bahan bakar nabati. Namun karena sifat hasil minyak nabati baik biodiesel dan biomassa menghasilkan *bio-oil* dengan karakteristik sifat nilai kalor yang rendah, titik nyala yang tinggi

dan viskositas yang cukup besar dapat mempengaruhi injeksi dan efisiensi pembakaran pada mesin diesel atau gasolin. Untuk meningkatkan kualitas bahan bakar alternative dari sumber biomassa dan minyak nabati perengkahan dipadukan dengan ko-reaktan berasal dari limbah plastik seperti polipropilen, polistiren dan sebagainya (Park dkk., 2017). Serta dipelajari pengaruh variasi *feedstock* terhadap jumlah bahan bakar cair yang didapatkan dari proses co-pirolisis.

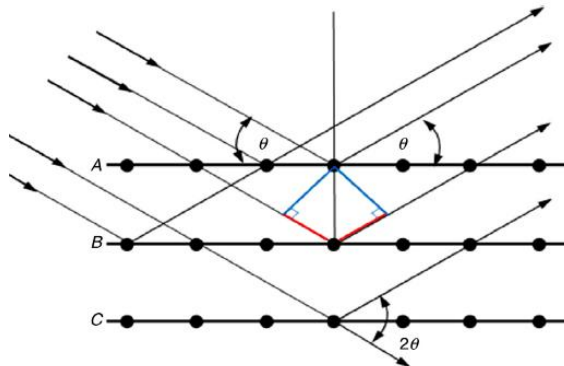
Bahan bakar cair disintesis menggunakan co-pirolisis dengan biomassa bamboo dan ko-reaktan limbah polipropilen (PP) katalis yang digunakan adalah HZSM-5. Proses kerja co-pirolisis menggunakan suhu 250°C dengan variasi katalis terhadap *feedstock* dan dengan variasi *feedstock* dengan rasion biomassa bambo : polipropilen sebesar 1:2 dan 2:1. Yield maksimum bio-oil yang dihasilkan mencapai 61,62% berat. komposisi oksigen semakin berkurang dengan penambahan jumlah katalis. Pengaruh penambahan PP meningkatkan proporsi hidrokarbon aromatic dan naptane yang dihasilkan (Zhao dkk., 2018).

Shadangi dan Mohanty (2015) melaporkan produksi bahan bakar cair dengan mengkonversi biomassa dari biji niger dan biji karanja dengan ko-reaktan limbah plastik jenis polistiren. Teknik konversi dilakukan menggunakan perengkahan termal pada suhu 500°C – 600°C, digunakan atmosfer inert dengan mengalirkan gas N₂ dengan kecepatan 40 mL/min. Persentase yield bio-oil yang dihasilkan dengan rasio 1:1 biji (karanja, niger):polistiren berturut-turut sebesar 60,11% berat dan 61,31% berat. Viskositas bahan bakar yang dihasilkan dari co-pirolisis berkurang dengan bertambahnya rasio biji niger dan karanja terhadap polistiren. Namun nilai kalor terbesar didapatkan pada variasi *feedstock* 2:1 dibandingkan dengan komposisi *feedstock* lainnya (Shadangi dan Mohanty., 2015).

2.10 Karakterisasi Katalis

2.10.1 X-Ray Diffraction (XRD)

Difraktometer sinar-X (XRD) merupakan suatu instrumen yang digunakan untuk menentukan struktur kristal dan kristalinitas dari suatu padatan. Selain itu juga dapat melihat karakteristik amorf dalam material dengan cara menentukan parameter struktur perusakan fasa kristal serta untuk mendapatkan ukuran partikel. Prinsip dari *X-ray Diffraction* (XRD) adalah difraksi gelombang sinar X yang mengalami penghamburan (*scattering*) setelah bertumbukan dengan atom kristal. Bila seberkas sinar-X di jatuhkan pada sampel kristal, maka bidang kristal itu akan membiaskan sinar-X yang memiliki panjang gelombang sama dengan jarak antar kisi dalam kristal tersebut. Sinar yang dibiaskan akan ditangkap oleh detektor kemudian diterjemahkan sebagai sebuah puncak difraksi. Semakin banyak bidang kristal dalam sampel, makin kuat intensitas pembiasan yang dihasilkannya. Puncak-puncak yang didapatkan dari data pengukuran ini kemudian dicocokkan dengan standar difraksi sinar-X yang disebut JCPDS (*Joint Committee on Powder Diffraction Standards*). Prinsip kerja XRD dapat ditinjau pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Prinsip Kerja Hukum Bragg's (Lamas dkk., 2015)

XRD mengikuti Hukum Bragg yang didefinisikan sebagai berikut:

$$n \lambda = 2d \sin \theta \quad (2.1)$$

Keterangan:

n = orde bias (0, 1, 2, 3,.....)

λ = panjang gelombang sinar-X (nm)

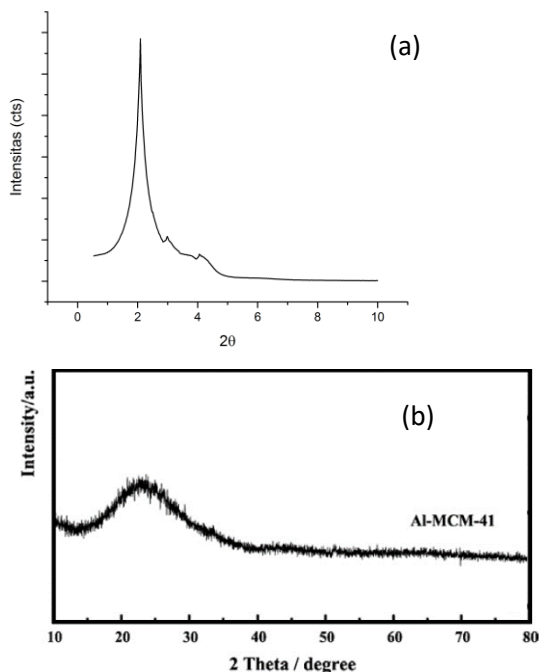
d = jarak antara dua bidang kisi (cm)

θ = sudut antara sinar datang dengan bidang normal

Ukuran kritsal rata-rata dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Scherrer, yaitu :

$$T = \frac{0,9 \lambda}{B \cos \theta} \quad (2.2)$$

Puncak khas dari Al-MCM-41 pada defraktogram XRD terdapat pada sudut (2θ) dengan rentang $1-6^\circ$ dengan intensitas sedang sampai tinggi. Intensitas pada sudut $2,23^\circ$ menunjukkan padatan pada bidang (100), dan tiga bidang lainnya antara sudut $4-6^\circ$ yang merefleksikan bidang (110), (200) dan (210) merupakan karakteristik padatan mesopori heksagonal (Zhang dkk., 2016). Pada Gambar 2.14, menunjukkan pola difraksi sudut pendek material Al-MCM-41. Terdapat tiga puncak difraksi yang berbeda (100), (110), dan (200) yang merupakan karakteristik sudut khas dari katalis Al-MCM-41 ($2\theta=1-5^\circ$) serta puncak Al dengan intensitas yang sangat rendah pada $2\theta = 20^\circ$ (Juwono dkk., 2017).

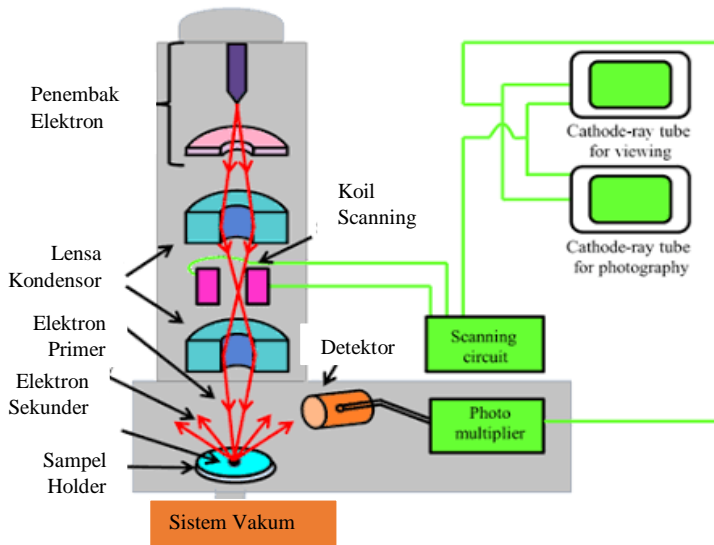


Gambar 2. 14 (a) Hasil XRD sudut pendek AL-MCM-41 (b) Hasil XRD sudut lebar AL-MCM-41

2.10.2 *Scanning Electronic Microscope (SEM)*

Scanning Electronic Microscope (SEM) merupakan salah satu jenis dari mikroskop elektron. Tujuan penggunaan SEM adalah untuk mengamati dan mempelajari topografi, yaitu tekstur atau sifat-sifat permukaan obyek, morfologi, bentuk, ukuran dan susunan partikel yang berada pada permukaan sampel. Cara kerja *Scanning Electronic Microscope* adalah sinar dari lampu dipancarkan pada lensa kondensor, sebelum masuk masuk pada lensa terdapat pengatur dari pancaran sinar elektron yang ditembakkan. Sinar elektron terfokus akan menghasilkan elektron

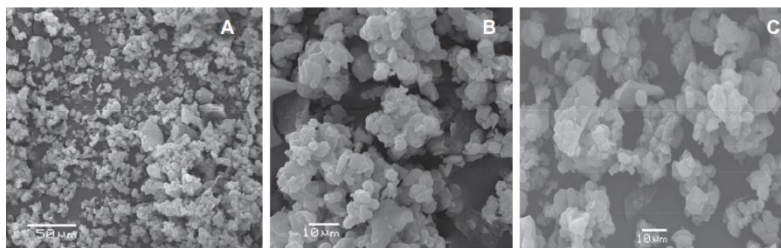
sekunder (SEs), elektron *back scattered*, dan sinar-X khas, yang mana kemudian dideteksi dengan detector dan akhirnya ditampilkan di monitor. Sinar yang melewati lensa objektif diteruskan pada spesimen yang diatur miring pada pencekamnya spesimen ini disinari oleh sinar X-ray yang menghasilkan sebuah gambar yang diteruskan pada layar monitor (Stokes, 2012).



Gambar 2.15 Diagram *Scanning Electronic Microscope* (Pereira-da-Silva dan Ferri, 2015).

Al-MCM-41 berhasil disintesis dengan struktur berukuran nanomaterial sebagai katalis penataan ulang senyawa *cyclohexanonone oxime* terhadap *caprolactam*. Al-MCM-41 sebagai katalis mesopori yang dibuat menggunakan metode hidrotermal dengan variasi penambahan logam Al. Al-MCM-41 yang terbentuk dianalisis morfologinya dengan *Scanning Electron Microscopy* yang dominan berbentuk sperikal atau hexagonal

(Vaschetto dkk., 2014). Bentuk morfologi Al-MCM-41 dengan beberapa rasio Al/Si dapat ditunjukkan pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Hasil Analisis SEM (a) Al-MCM-41 rasio Al/Si (10), (b) Al-MCM-41 rasio Al/Si (20) dan (c) Al-MCM-41 rasio Al/Si (100)

2.10.3 Adsorpsi-Desorpsi Nitrogen

Adsorpsi nitrogen merupakan adsorpsi fisik (fisisorpsi) untuk menentukan distribusi ukuran pori dan luas permukaan spesifik suatu material padatan (Haber, dkk., 1995). Bentuk dan ukuran pori material penting untuk diamati karena untuk menentukan proses difusi yang melewati material tersebut dan juga selektivitas reaksi katalisis. Luas permukaan spesifik adalah luas permukaan partikel tiap satuan massa atau volume dari material. Luas permukaan spesifik dapat dijelaskan dengan menggunakan teori adsorpsi.

Teori adsorpsi yang dikenal adalah Teori Brunauer-Emmet dan Teller atau Teori BET. Persamaan BET hanya dapat digunakan untuk adsorpsi isoterm dengan nilai P/P_0 berkisar antara 0,05–0,3 (Adamson, 1994). Persamaan tersebut didasarkan pada asumsi bahwa :

- Terjadi adsorpsi banyak lapis, bahkan pada tekanan yang sangat diabaikan.
- Interaksi antar molekul yang teradsorpsi.
- Kecepatan adsorpsi yang mempunyai nilai yang sama dengan kecepatan desorpsi.

- d. Adsorben mempunyai permukaan yang homogen, yaitu yang mempunyai keadaan energi yang sama.

Secara matematis persamaan isothermal BET dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\frac{P}{V(P_0 - P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{C - 1}{V_m C} \times \frac{P}{P_0} \quad (2.3)$$

Keterangan: V : jumlah gas yang teradsorpsi pada tekanan p

V_m : jumlah gas dalam monolayer

P_0 : tekanan penjuhan

$V : \infty$ pada $P = P_0$

C : konstanta

Kemudian plot antara $P/V(P_0 - P)$ merupakan sumbu y, dan plot P/P_0 merupakan sumbu x. Berdasarkan plot tersebut akan dihasilkan persamaan garis lurus dengan gradien adalah $C - 1/V_m C$ dan intersep adalah $1/V_m C$, sehingga diperoleh nilai V_m sebagai berikut:

$$V_m = \frac{1}{(\text{intersep} + \text{slope})} \quad (2.4)$$

Berdasarkan persamaan 2.4 luas permukaan dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$SA = \frac{V_m}{(0,0224)} N A \times 10^{-19} \quad (2.5)$$

Keterangan: SA : luas permukaan

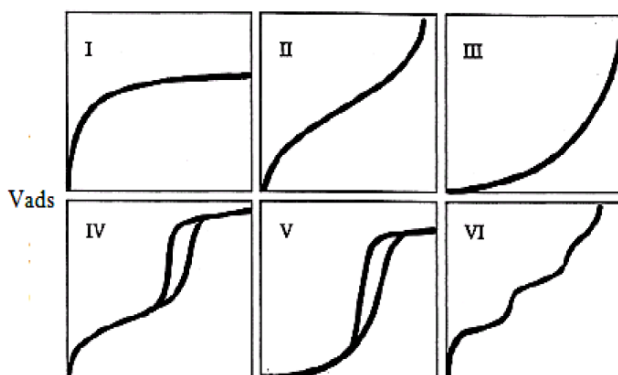
V_m : jumlah adsorbat cm^3/g padatan

N : Bilangan Avogadro

A : daerah penampang lintang secara molekular pada adsorbat (nm)

Klasifikasi isoterm adsorpsi-desorpsi menurut *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) ini didasarkan pada klasifikasi Brunauer. Brunauer

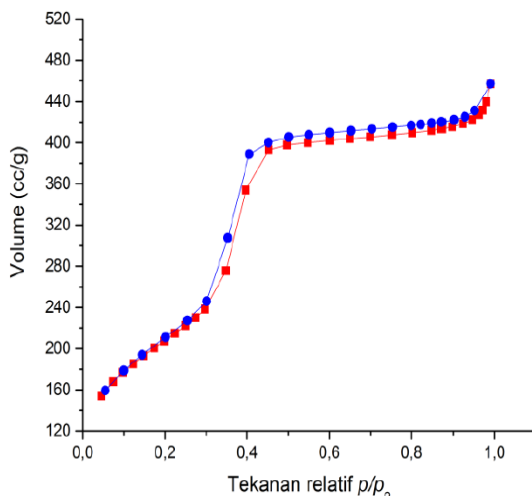
mengklasifikasikan ada enam tipe isoterm, yaitu tipe I, II, III, IV, V dan VI. Tipe I merupakan tipe langmuir. Tipe ini khas untuk padatan mikropori dan adsorbsinya monolayer. Tipe II dan tipe III berturut-turut menggambarkan interaksi adsorpsi antara adsorbat-adsorben secara kuat dan lemah. Tipe II dan III menunjukkan padatan makropori. Tipe III adalah untuk material berpori dengan gaya kohesi yang lebih besar antara molekul adsorbat daripada kekuatan adhesi antara molekul-molekul adsorbat dan adsorben. Isoterm tipe IV dan tipe V karakteristik untuk adsorben mesopori yang berturut-turut merupakan adsorpsi monolayer dan multilayer yang disertai dengan adanya kondensasi kapiler. Adanya pori pada permukaan padatan akan memberikan efek pembatasan jumlah lapisan pada adsorbat dan terjadi fenomena kondensasi kapiler. Kondensasi kapiler ini menyebabkan terjadinya histerisis (Adamson, 1994). Tipe VI merupakan adsorpsi isothermal untuk padatan tidak berpori yang mempunyai permukaan seragam.



Gambar 2.17 Klasifikasi isoterm adsorpsi-*desorpsi* (Adamson, 1994)

Juwono dkk (2017) telah melakukan sintesis padatan amorf Al-MCM-41 dengan memasukkan logam Al dalam silika mesopori MCM-41. Sehingga logam Al menempati pori

heksagonal dari MCM-41. Grafik isoterm adsorpsi yang ditunjukkan pada Gambar 2.18, dari Al-MCM-41 mengikuti grafik isotherm tipe IV. Dihasilkan luas permukaan katalis Al-MCM-41 sebesar $419,93 \text{ m}^2/\text{g}$ dengan luas pori $0,5 \text{ cc/g}$ dan radius pori rata-rata $15,12 \text{ \AA}$.



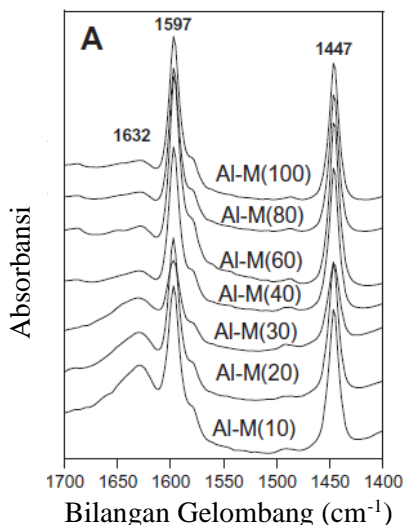
Gambar 2.18 Grafik Isoterm Adosorpsi Desorpsi Nitrogen Al-MCM-41

2.10.4 Penentuan Asam Basa Permukaan Padatan

Sifat asam/basa permukaan yang dimiliki oleh katalis sangat berpengaruh pada berbagai transformasi senyawa organik. Pengertian dari sisi asam adalah sisi dimana senyawa bersifat basa akan teradsorp secara kimia begitu sebaliknya. Asam Bronsted memiliki kecenderungan menyumbang proton dan basa Bronsted cenderung menerima proton. Sedangkan asam Lewis dikenal sebagai aseptor pasangan elektron sementara basa Lewis bertindak sebagai donor pasangan elektron. Keasaman permukaan katalis dapat ditentukan dengan metode *Fourier Transform Infrared* (FTIR) salah satunya dengan senyawa piridin sebagai basa.

Penentuan keasaman dilakukan dengan menekan sampel padatan yang diletakkan pada pemegang sampel dan dimasukkan dalam kaca yang terbuat dari pirex yang mempunyai jendela terbuat dari kalsium florida (CaF_2). Selanjutnya sel kaca dipanaskan pada suhu 400°C selama 4 jam (Prasetyoko dkk., 2016).

Interaksi antara molekul piridin dengan sisi asam Bronsted pada permukaan akan memunculkan pita serapan pada daerah bilangan gelombang $1.540\text{--}1.545\text{ cm}^{-1}$, sedangkan interaksi antara probe molekul dengan sisi asam Lewis permukaan muncul pada serapan bilangan gelombang sekitar $1.440\text{--}1.452\text{ cm}^{-1}$ (Prasetyoko dkk., 2016). Vaschetto dkk (2014) melaporkan bahwa katalis Al-MCM-41 memiliki dua macam sisi aktif yaitu asam Lewis seperti ditunjukkan pada Gambar 2.19. menunjukkan spektra pada bilangan gelombang 1.477 cm^{-1} menunjukkan asam Lewis dari aluminium oksida.



Gambar 2.19 Absorbansi FTIR Piridin Katalis Al-MCM-41

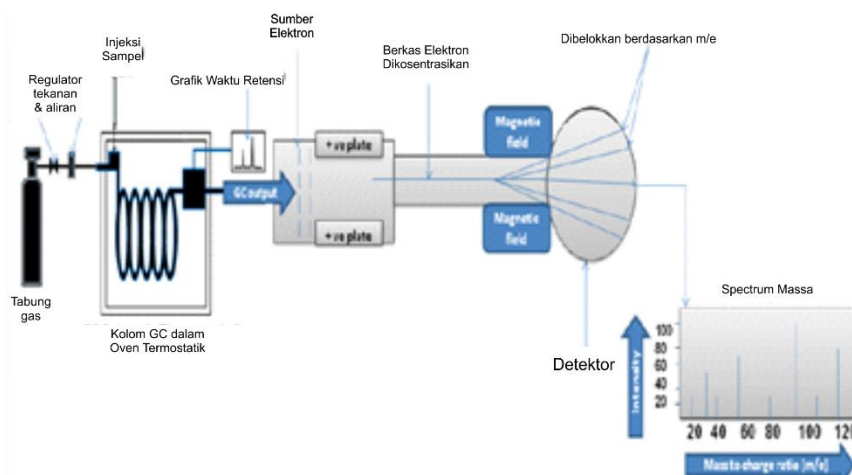
2.11 Karakterisasi Bahan Bakar Cair

2.11.1 *Gas Chromatography - Mass Spectroscopy* (GC - MS)

Gas Chromatography - Mass Spectroscopy adalah suatu instrument gabungan yang digunakan untuk memisahkan komponen suatu campuran dan juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi, penentuan kuantitas dan pengumpulan senyawa yang telah dipisahkan tersebut. Prinsip pemisahan secara kromatografi gas adalah penyebaran cuplikan diantara 2 fasa. Pemisahan tercapai dengan partisi sampel antara fasa gas bergerak dan fasa diam berupa cairan dengan titik didih tinggi, tidak mudah menguap yang terikat pada zat padat penunjangnya. Komponen-komponen dari suatu campuran dilewatkan pada fasa diam yang dibawa oleh aliran fasa gerak. komponen-komponen dari sampel yang telah menjadi uap terfraksinasi dalam kolom karena adanya proses partisi antara fasa gerak dan fasa diam. Fasa diamnya dapat berupa padatan dan berupa cairan yang disupport pada suatu matriks padatan inert, sedangkan fasa geraknya berupa gas. Gas pembawa ini berupa gas inert seperti N_2 , H_2 , Ar, dan He. Jika fasa diamnya berupa padatan, maka tipe kromatografi ini disebut kromatografi gas-padat, namun jika fasa diamnya berupa cairan, maka tipe kromatografi ini disebut kromatografi gas-cair (Stashenko dan Martínez., 2014).

Terdapat tiga bagian dalam spektrometri massa yaitu sumber ion, *mass analyzer* dan detektor. Senyawa yang masuk menuju spektrometri massa akan mengalami ionisasi dan fragmentasi. Ionisasi terjadi karena adanya elektron yang berasal dari sumber elektron. Ion-ion fragmen akan memasuki *mass analyzer* dan dipisahkan berdasarkan nilai m/z masing-masing. Fraksi ion dengan nilai m/z kecil akan memasuki detektor terlebih dahulu. Output dari detektor berupa diagram hubungan antara nilai m/z dengan intensitas relatif ion-ion fragmen dari senyawa sehingga dapat diidentifikasi suatu senyawa dengan

membandingkan pola spektra yang terdapat pada *data library* (Ajayi dkk., 2016).



Gambar 2.20 Skema Instrumen *Gas Chromatography – Mass Spectroscopy* (Kumar dkk., 2015)

Kolom kapiler merupakan kolom yang sering dijumpai pada GC-MS karena memiliki beberapa keuntungan bila. Salah satu keuntungan kolom kapiler, yaitu jumlah sampel yang dibutuhkan tidak terlalu banyak begitu pula dengan gas pembawanya, dan hasil pemisahan yang lebih sempurna. Sistematis penggunaan instrumen GC-MS ditunjukkan pada Gambar 2.20. Cuplikan sampel akan berada dalam kolom kemudian harus dalam bentuk fase uap. Pada umumnya senyawa organik berbentuk cairan dan padatan. Oleh sebab itu, senyawa yang berbentuk cairan dan padatan harus diuapkan. Proses penguapan membutuhkan pemanasan sebelum masuk dalam kolom. Sumber panas terdapat pada tempat injeksi. Temperatur tempat injeksi dijaga agar tidak terlalu tinggi, karena memungkinkan terjadinya perubahan struktur senyawa yang akan

dianalisis. Selain itu cuplikan yang akan diinjeksikan tidak boleh terlalu banyak, karena kromatografi gas sangat sensitif. Jumlah cuplikan gas yang diinjeksikan yaitu 0,5-50 ml dan 0,2 - 20 ml untuk cuplikan cairan Oven digunakan untuk memanaskan kolom pada temperatur tertentu sehingga mempermudah proses pemisahan komponen sample. Biasanya oven memiliki jangkauan suhu 30– 320°C.

Setelah analit melalui kolom kapiler, tahap selanjutnya adalah ionisasi. Ionisasi pada spektrometri massa yang terintegrasi dengan KG terdapat dua macam yakni *Electron Impact ionization* (EI) atau *Chemical Ionization* (CI). Pada tahapan ionisasi, EI analit yang keluar dari kolom kapiler akan diionisasi oleh elektron dari filamen *tungsten* yang diberi tegangan listrik. Ionisasi terjadi bukan karena tumbukan elektron dan molekul, tetapi karena interaksi medan elektron dan molekul ketika berdekatan. Hal tersebut menyebabkan satu elektron lepas, sehingga terbentuk ion molekular M^+ , yang memiliki massa sama dengan molekul netral, tetapi bermuatan lebih positif. Adapun perbandingan massa fragmen tersebut dengan muatannya yang disimbolkan m/z . Ion yang terbentuk akan didorong ke *quadrupoles* atau *mass filter* untuk pengelompokan senyawa berdasarkan massanya. Ion positif menuju HED, menyebabkan elektron terlepas. Elektron kemudian menuju kutub yang lebih positif, yakni ujung tanduk EM. Ketika elektron menyinggung sisi EM, maka akan lebih banyak lagi elektron yang terlepas, menyebabkan sebuah arus/aliran. Kemudian sinyal arus akan diterjemahkan sebagai spektra.

2.11.2 Densitas

Densitas atau massa jenis adalah salah satu sifat fisik yang dimiliki bahan bakar cair yang harus diketahui. Massa jenis sangat berpengaruh dengan banyaknya bahan bakar yang dapat diinjeksikan dalam system injeksi sehingga dapat menyebabkan

sistem pembakaran berjalan baik. Densitas bahan bakar memainkan sebuah peran penting dalam desain pipa semprot dikarenakan akan mempengaruhi operasi mesin kedepannya. Bila densitasnya terlalu tinggi akan berpengaruh terhadap viskositas atau laju alirnya yang berdampak pada keausan hingga kerusakan apabila diaplikasikan dalam mesin. Untuk mendapatkan putaran mesin yang cepat maka laju alir bahan bakar juga harus cepat (Sakthivela dkk., 2018). Nilai densitas bahan bakar cair jenis gasolin berdasarkan standar ASTM D 1480.

2.11.3 Viskositas Kinematik

Viskositas atau kekentalan didefinisikan sebagai ketahanan fluida terhadap aliran. Pada umumnya viskositas dinyatakan dalam ukuran waktu yang diperlukan untuk mengalirkan cairan melalui tabung atau alat yang disebut viskometer Ostwald seperti pada gambar 2.4. Nilai viskositas suatu bahan bakar bergantung pada kandungan fraksi ringan dan temperatur di sekitarnya (Nugroho, 2006). Viskositas mempunyai peranan penting dalam proses penginjeksian bahan bakar cair. Viskositas yang terlalu rendah menyebabkan kebocoran pada pompa injeksi sedangkan jika terlalu tinggi akan mempengaruhi kerja cepat alat injeksi dan mempersulit pengabutan bahan bakar. Nilai viskositas bahan bakar cair yang besar menghambat atomisasi, efisiensi pembakaran dan pembentukan deposit. Nilai maksimum viskositas kinematik standar bahan bakar gasolin mengikuti ASTM D 445 yaitu sebesar $1,17 \text{ mm}^2/\text{s}$ (Sakthivela dkk., 2018).

2.11.4 Titik Nyala

Titik nyala adalah temperatur terendah saat uap dari bahan bakar cair mulai terbakar. Penentuan titik nyala bahan bakar penting untuk dilakukan karena berhubungan dengan keamanan dan keselamatan dalam penyimpanan dan penanganannya.

Semakin rendah titik nyala bahan bakar, maka semakin mudah terbakar (Sakthivela dkk., 2018). Nilai titik nyala yang terlalu rendah dapat menyebabkan timbulnya detonasi berupa ledakan-ledakan kecil yang terjadi sebelum bahan bakar masuk ke dalam ruang pembakaran. Sebaliknya, semakin tinggi titik nyala, maka semakin susah untuk terbakar dan menyebabkan keterlambatan pembakaran dalam mesin. Titik nyala suatu bahan bakar menandakan batas aman terhadap bahaya kebakaran selama penyimpanan, penanganan, dan transportasi. Titik nyala mengindikasikan tinggi rendahnya volatilitas dan kemampuan suatu bahan bakar terbakar (Setiawati & Edwar., 2012).

2.11.5 Nilai Kalor

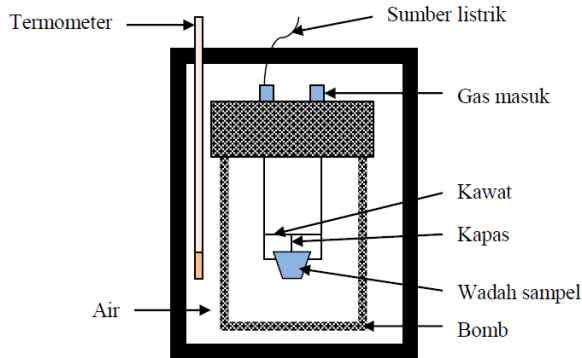
Proses yang menghasilkan panas disebut eksotermis dan proses yang memerlukan panas disebut endotermis. Pengukur panas telah dikembangkan dengan menggunakan beragam peralatan yang secara umum disebut kalorimeter. Nilai kalor menunjukkan jumlah energi yang dihasilkan oleh suatu bahan per satuan massa setelah terbakar sempurna. Semakin tinggi nilai kalor suatu bahan bakar maka energi yang dihasilkan pun akan semakin efisien, karena menghasilkan panas yang lebih besar dengan massa yang sedikit (Irzon, 2012). Aplikasi perangkat *bomb calorimeter* dapat menentukan kualitas bahan bakar minyak seperti bensin (Kumar dkk., 2011).

Prinsip kerja dari *bomb calorimeter* yaitu bekerja pada sistem terisolasi (tidak ada perpindahan baik energi maupun massa) seperti pada Gambar 2.21. Reaksi yang terjadi di dalam *bomb calorimeter* akan menghasilkan kalor dan akan diserap oleh air dan *bomb* pada suhu yang sama. Kalor yang dihasilkan ditunjukkan dengan adanya kenaikan suhu air yang terbaca oleh termometer. Prinsip *bomb calorimeter* yang terisolasi tidak memungkinkan adanya kalor yang terbuang ke lingkungan,

sehingga kalor reaksi sama dengan kalor yang diserap oleh air dan bom (Chang, 2003). Persamaan kalor pembakaran yang berlaku adalah sebagai berikut :

$$q_{\text{reaksi}} = q_{\text{air}} + q_{\text{bom}} \quad (2.2)$$

$$q_{\text{reaksi}} = (m \times c \times \Delta T) + (C_{\text{bom}} \times \Delta T) \quad (2.3)$$

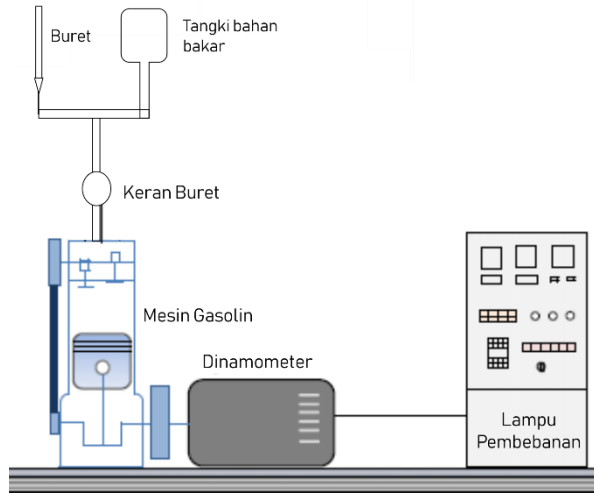


Gambar 2.21 Skema Bomb-Kalorimeter

2.12. Karakterisasi Performa Bahan Bakar Cair pada Mesin Gasolin

Pengujian bahan bakar cair menggunakan mesin gasolin sangat diperlukan untuk mengetahui performa dan efisiensi kerja secara aplikatif dalam sistem pembakaran mesin transportasi. Berbagai parameter pencemar dapat diukur yaitu, emisi gas (HC, CO, CO₂, NO_x dan SO_x) dalam kadar ppm. Selain itu parameter yang dapat diukur dalam konsumsi bahan bakar seperti *Brake Spesific Fuel Consumption* (Bsfc), *Brake Thermal Efficiency* (BTE), *Exhaust gas temperature* (EGT) dan *Brake Horse Power* (BHP) (Yusoff dkk., 2015). Variabel diatas sangat menentukan bagaimana performa bahan bakar apabila akan diaplikasikan baik dalam mesin diesel atau mesin gasolin. Mesin gasolin memiliki karburator sebagai mengalirkan bahan bakar pada sistem pembakaran selain itu sistem penyalaan menggunakan busi atau menggunakan aki. Pada uji peforma motor gasolin sama dengan

mesin diesel proses pertama yang harus dilakukan yaitu mengetahui beban full load dan rpm maksimum. Data yang akan didapat adalah tegangan, arus, rpm alternator, dan waktu konsumsi volume sampel bahan bakar dalam satuan menit. Skematik proses pengujian pada mesin gasolin ditunjukkan pada Gambar 2.22



Gambar 2.22 Modifikasi Skema Pengujian pada Mesin Gasolin (Topgul, 2015)

Brake Thermal Efficiency (BTE) adalah efisiensi pemanfaatan perubahan termal dari bahan bakar cair untuk diubah menjadi kerja mekanis. Efisiensi pada mesin gasolin dipengaruhi oleh nilai kalor bahan bakar cair dan kemampuan mesin mengoptimasi bahan bakar menjadi daya pada poros. Selain itu pada beberapa penelitian BTE pada mesin pembakaran dipengaruhi oleh densitas dan kekentalan bahan bakar cair. Pada dasarnya efisiensi termal pada setiap bahan bakar akan semakin berkurang dengan bertambahnya kecepatan putaran dari mesin gasolin karena banyak bahan bakar akan dikonversi menjadi gas buang (Ashok dkk., 2017).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Alat dan Bahan

3.1.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah alu dan mortar, oven, *press pellet*, desikator, alat *X-Ray Diffraction* (XRD), *Micromeritics TriStar II 3020 Automatic physisorption Analyzer*, *Gas Chromatograph-Mass Spectrophotometer* (GC-MS) jenis GCMS-QP2010S SHIMADZU (Kolom AB 5MS), reaktor panci, reaktor teko, bom kalorimeter, piknometer 10,182 mL, cawan keramik, kertas saring, termometer, neraca analitik, viskometer oswald dan mesin generator set gasolin.

3.1.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah Biji Nyamplung (*Callophylum Illophylum*) didapat dari pantai Camplong Sampang Madura, limbah plastik polipropilena (PP), katalis Al-MCM-41 diperoleh dari penelitian sebelumnya oleh Juwono dkk. (2013), keramik busi, Premium (RON 88), Metil Tersier Butil Eter dari Merck, Nitrogen UHP, dan Metanol p.a. dari Merck

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Produksi Hidrokarbon dengan Pirolisis Limbah Plastik Polipropilena

Sampel pada penelitian ini berupa limbah plastik polipropilena (PP) kemasan gelas air mineral tidak berwarna. Sampel dibersihkan dan dikeringkan kemudian dipotong dengan ukuran kecil (1-2 cm²). Potongan limbah plastik PP ditimbang dengan berat 500 gram dan disimpan dalam tempat kering.

Sintesis bahan bakar cair dilakukan dengan prinsip destilasi. Perengkahan nonkatalitik limbah plastik dilakukan dalam reaktor

tertutup. Pada reaktor ini terdapat bagian utama yakni *chamber reactor*, konektor, kondensor, dan labu penampung.

Chamber reactor berkapasitas 2 L digunakan sebagai tempat terjadinya proses pirolisis atau perengkahan. Sebanyak 500 g sampel limbah plastik polipropilena (PP) cacahan dimasukkan ke dalam *chamber reactor*. Konektor disusun sedemikian rupa hingga melekat di sisi atas *chamber reactor*. Reaktor dipanaskan hingga mencapai suhu 250°C dengan lama proses pirolisis selama 120 menit. Sampel dikonversi menjadi gas dan dialirkan menuju kondensor melalui konektor. Hasilnya dikondensasi menjadi hidrokarbon cair oleh kondensor. hidrokarbon cair ditampung dalam labu penampung.

3.2.2 Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nyamplung

Biji nyamplung yang diperoleh dari pantai Camplong Sampng Madura dipisahkan dari kulit luarnya. Biji nyamplung yang diperoleh dikeringkan dengan menggunakan oven pada suhu 100°C selama 2 jam sampai kadar air kurang dari 5%. Biji nyamplung kering yang didapat ditekan untuk mendapatkan minyak mentah biji nyamplung. Minyak mentah biji nyamplung kemudian didegumming. Sejumlah 1 L minyak mentah biji Nyamplung ditempatkan dalam gelas beker lalu ditambahkan 50 mL H_3PO_4 . Campuran dihomogenisasi menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam, dengan suhu 60°C dan dibiarkan selama 24 jam agar terbentuk dua lapisan yang terpisah. Lapisan atas (Merupakan minyak biji Nyamplung) dikumpulkan untuk diproses menjadi biodiesel lebih lanjut. Proses transesterifikasi dilakukan dengan penambahan metanol 15% volume terhadap minyak biji nyamplung dengan perbandingan 1:3 dengan katalis basa NaOH sebanyak 2,5% dari berat minyak biji Nyamplung, kemudian dipanaskan dalam reaktor batch. Reaksi diaduk pada 350 rpm, dan dipanaskan pada suhu 60°C selama 2 jam. Hasil transesterifikasi di

tempatkan pada corong pisah dan akan terbentuk dua lapisan setelah 5 jam dan biodiesel yang diperoleh berada di lapisan bawah. Pada penelitian ini biodiesel minyak nyamplung diperoleh dari penelitian Juwono, 2017.

3.2.3 Persiapan Katalis

Katalis Al-MCM-41 diaktivasi dengan suhu 80°C dalam oven. Katalis Al-MCM-41 kemudian dimasukkan ke dalam desikator. Katalis Al-MCM-41 yang teraktivasi dicampurkan dengan serbuk keramik yang telah digerus dan dihancurkan hingga halus. Rasio katalis dan keramik yang digunakan sebesar katalis Al-MCM-41 : Serbuk Keramik (7:3) kemudian diaktivasi kembali dengan suhu 80°C dan dibentuk menjadi pellet dengan *press pellet*.

3.2.4 Produksi Bahan Bakar Cair Plastik dengan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Nyamplung

Sampel pada penelitian ini berupa minyak dari limbah plastik polipropilena dan biodiesel minyak biji nyamplung. Katalis Al-MCM-41 : Keramik (7 : 3) ditimbang 9 g dan dibentuk menjadi *pellet* dengan *press pellet* menjadi 10 pellet. Pellet yang terbentuk dimasukkan ke dalam *tubular reactor*. Pada bagian *tubular reactor* diberi kassa kawat dan *glass wool* dan ditambahkan 5 pellet, kemudian *glass wool*, dan ditambahkan 5 pellet, *glass wool* dan ditutup dengan kassa kawat.

Perengkahan katalitik plastik dan ko-reaktan biodiesel minyak nyamplung dilakukan dalam reaktor tertutup. Tipe reaktor yang digunakan yaitu *continuous reactor*. Pada reaktor ini terdapat bagian utama yakni *chamber reactor* dan *tubular reactor*. *Chamber reactor* berkapasitas 500 mL digunakan sebagai tempat terjadinya proses perengkahan atau perengkahan. *Tubular reactor* digunakan sebagai wadah katalis dan tempat terjadinya perengkahan katalitik. *Tubular reactor* diletakkan pada atas

reaktor sehingga gas hasil perengkahan dapat mengalir dengan mudah menuju *tubular reactor* untuk mengalami reaksi katalisis. *Tubular reactor* terhubung langsung dengan kondensor yang mengkondensasi hasil perengkahan katalitik. Hasil kondensasi berupa cairan akan tertampung di dalam oil tank yang terletak di bawah kondensor.

Produksi bahan bakar cair dari limbah plastik polipropilena dengan ko-reaktan biodiesel minyak biji nyamplung dilakukan dengan prinsip destilasi. Dalam penelitian ini produksi bahan bakar cair dari limbah plastik polipropilena ko-reaktan biodiesel minyak biji nyamplung dilakukan dengan variasi perbandingan % volume minyak dari limbah plastik polipropilena dengan biodiesel minyak biji nyamplung dengan volume total 300 mL. Variasi pertama (PN0) dilakukan perengkahan katalitik dengan reaktan bahan bakar cair plastik 100% dan biodiesel minyak nyamplung 0%. Variasi kedua (PN20) dilakukan perengkahan katalitik dengan reaktan bahan bakar cair plastik 80% dan biodiesel minyak nyamplung 20%. Variasi ketiga (PN40) dilakukan perengkahan katalitik dengan reaktan bahan bakar cair plastik 60% dan biodiesel minyak nyamplung 40%. Variasi keempat (PN50) dilakukan perengkahan katalitik dengan reaktan bahan bakar cair plastik 50% dan biodiesel minyak nyamplung 50%. Variasi kelima (PN60) dilakukan perengkahan katalitik dengan reaktan bahan bakar cair plastik 40% dan biodiesel minyak nyamplung 60%.

3.2.5 Karakterisasi Katalis Al-MCM-41 : Keramik (7 : 3)

Ukuran pori dan porositas katalis dievaluasi menggunakan adsorpsi-desorpsi N₂ (*Micromeritics TriStar II 3020 Automatic physisorption Analyzer*). Katalis Al-MCM-41 : Keramik (7 : 3) di vakum pada 300°C selama 1 jam untuk menghilangkan gas yang terandung di dalamnya. Persamaan Brunauer-Emmett-Teller digunakan untuk menghitung area permukaan dengan

menggunakan data adsorpsi yaitu $p/p_o = 0,05 - 0,25$. Volume pori diukur melalui metode *Barrett-Joyner-Halenda* (BJH).

Pola Serbuk *X-ray Diffraction* (XRD) dianalisa di Departemen Material Metalurgi ITS dengan sumber sinar-X dari Cu K α , yang dioperasikan pada 40 kV dan 40 mA. Hamburan sudut 2θ diubah dari 10° hingga 80° .

Ukuran partikel penyusun dan morfologi permukaan sampel dievaluasi menggunakan *Scanning Electron Microscope* (SEM, FEI Quanta 200 F).

Keasaman pada permukaan katalis dievaluasi menggunakan *Pyridine-Adsorption Fourier Transform Infrared* (Piridin-FTIR).

3.2.6 Metode eksperimental dan evaluasi data

Desain experimental gabungan digunakan untuk optimalisasi kondisi proses dan hasil produk bahan bakar cair Plastik Ko-reaktan biodiesel minyak nyamplung pada pirolisis katalitik bertingkat.

Yield produk spesifik dihitung berdasarkan Persamaan (3.1).

$$\text{Yield produk} = \frac{\text{Volume produk}}{\text{Volume reaktan}} \times 100\% \quad (3.1)$$

3.3 Produksi Campuran Bahan Bakar Cair

Bahan bakar cair yang telah diproduksi melalui perengkahan katalitik minyak plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak nyamplung pada berbagai variasi *feedstock* masin-masing dicampur dengan bahan bakar Premium (RON 88). Premium (RON 88) sebanyak 90% dicampur dengan bahan bakar cair (BBC) sebanyak 10% dalam 200 mL. Campuran bahan bakar cair kemudian ditambah dengan aditif Metil Tersier Butil Eter (MTBE) dengan komposisi 2,45% volume dan dihomogenisasi selama 2 menit dengan *stirrer*. Campuran bahan bakar cair yang telah diproduksi dapat disebut dengan (CPN) dengan variabel (0, 20, 40,

50 dan 60) menunjukkan persen (%) variasi *feedstock* biodiesel minyak biji nyamplung. Campuran bahan bakar cair pada variasi *feedstock* biodiesel minyak nyamplung 0% tanpa aditif MTBE disebut sebagai (TCPN0) dapat ditinjau pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Jenis Campuran Bahan Bakar Cair

Variasi <i>Feedstock</i>	Bahan Bakar Cair % volume	Premium % volume	MTBE %	Campuran Bahan Bakar Cair (CPN)
PN0	10%	90%	2,45 %	CPN0
PN20	10%	90%	2,45 %	CPN20
PN40	10%	90%	2,45 %	CPN40
PN50	10%	90%	2,45 %	CPN50
PN60	10%	90%	2,45 %	CPN60
PN0	10%	90%	0 %	TCPN0

3.4 Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair

Karakterisasi bahan bakar cair dilakukan pengujian dengan analisis *Gas Chromatography-Mass Spectrometer* (GC-MS) untuk mengetahui komposisi fraksi hidrokarbon mirip gasolin. Sementara karakteristik sifat fisik campuran bahan bakar cair (CPN) sangat penting untuk mengetahui pengaruh penambahan aditif MTBE pada perubahan densitas, viskositas, titik nyala dan nilai kalor dari bahan bakar cair hasil perengkahan katalitik minyak plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak biji nyamplung. Viskositas kinematik campuran bahan bakar cair dilakukan pengukuran untuk mengetahui kemampuan laju alir campuran bahan bakar cair yang masuk dalam lubang pembakaran mesin gasolin. Sehingga dapat ditentukan pengaruh penambahan aditif MTBE pada performa campuran bahan bakar cair dalam mesin gasolin.

3.4.1 Gas Chromatograph-Mass Spectrophotometer (GC-MS)

Bahan bakar cair hasil perengkahan dikarakterisasi dengan instrumen GC-MS *Agilent Technologies 7890A GC-5975MS*. Sebanyak 50 mg sampel produk bahan bakar cair dilarutkan dalam 1 mL n-heksana, lalu sampel diinjeksikan ke inlets kromatografi dan diproses selama 42 menit. *Gas Chromatograph-Mass Spectrophotometer (GC-MS)* dikondisikan sebagai berikut:

1. Inlets
 - o Jumlah suntikan : 1 μ L
 - o Suhu : 310°C
 - o Tekanan : 13 KPa
 - o Rasio : 66,8
2. Oven
 - o Suhu awal : 50°C
 - o Suhu akhir : 300°C
 - o *Hold time* : 1,8 menit
 - o Laju : 5°C/menit
3. Kolom
 - o Tipe : AB 5MS
 - o Gas : Helium
 - o Aliran gas : 0,55 mL/menit

3.4.2 Penentuan Densitas Campuran Bahan Bakar Cair

Penentuan densitas campuran bahan bakar cair dapat dilakukan dengan piknometer. Piknometer kosong dengan volume 10,182 ml ditimbang massanya menggunakan neraca analitik. Kemudian piknometer diisi dengan campuran bahan bakar cair hingga memenuhi saluran rongga tutup piknometer kemudian ditimbang kembali massanya. Densitas sampel campuran bahan bakar cair diperoleh dari selisih massa piknometer terisi dan

piknometer kosong terhadap volume piknometer. Penentuan densitas bahan bakar cair dilakukan pada suhu 15°C.

3.4.3 Penentuan Titik Nyala Campuran Bahan Bakar Cair

Campuran bahan bakar cair dituangkan ke dalam cawan porselen. Termometer digital dipasang di atas cawan porselen hingga menyentuh campuran bahan bakar cair. Sumber api diperoleh dari pemantik api yang dipantik secara terus menerus pada permukaan sampel. Suhu yang tercatat merupakan suhu yang terbaca pada termometer saat terjadi nyala pertama setelah diberikan sumber api.

3.4.4 Penentuan Nilai Kalor Campuran Bahan Bakar Cair

Penentuan kalor pembakaran produk bahan bakar cair menggunakan bom kalorimeter. Sebanyak 0,5 gram produk bahan bakar cair dimasukkan ke dalam krusibel dan dimasukkan ke dalam baja bom. Bom ditutup rapat lalu diisi dengan oksigen (O_2) hingga tekanan 30 atm dan dimasukkan ke dalam kalorimeter yang berisi air. Setelah preparasi dilakukan maka proses pembakaran dapat dilakukan dengan mengalirkan listrik ke dalam kalorimeter. Nilai kalor yang terserap oleh kalorimeter ditampilkan pada monitor.

3.4.5 Penentuan Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik campuran bahan bakar cair diukur dengan Viskometer Ostwald. Pengujian viskositas bahan bakar cair melibatkan aquades sebagai pembanding. Aquades dimasukkan ke dalam viskometer Ostwald dan dicatat waktu alirnya dari batas atas hingga batas bawah kapiler. Pengujian yang sama dilakukan pada sampel bahan bakar cair pada suhu 40 °C. Nilai viskositas kinematik campuran bahan bakar cair diperoleh menggunakan Persamaan (3.2).

$$\eta_{PN} = \eta_{air} \frac{t_{PN} \cdot \rho_{PN}}{t_{air} \cdot \rho_{air}} \quad (3.2)$$

Keterangan : η_{PN} = Viskositas kinematik bahan bakar cair

η_0 = Viskositas kinematik aquades

t_{PN} = Waktu alir campuran bahan bakar cair

t_0 = Waktu alir aquades

ρ_{PN} = Densitas campuran bahan bakar cair

ρ_0 = Densitas aquades

3.5 Penentuan Performa Campuran Bahan Bakar Cair pada Mesin Gasolin

Campuran bahan bakar cair kemudian diuji efisiensi yang dihasilkan oleh waktu dengan mengukur waktu pembakaran 20 mL bahan bakar cair terhadap pembebanan yang dihasilkan oleh proses pembakaran dalam satuan watt. Campuran bahan bakar cair diuji pada range 200 watt. Pengujian dilakukan di Departemen Teknis Mesin Industri Laboratorium Motor Bakar

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Produksi Bahan Bakar Cair

Pada penelitian ini, dilakukan metode perengkahan untuk mengolah limbah plastik jenis polipropilena (PP) dan biodiesel minyak nyamplung sehingga didapatkan bahan bakar cair (BBC) dengan fraksi hidrokarbon seperti gasolin. Proses perengkahan dapat menghasilkan produk BBC dengan kualitas, selektifitas dan kuantitas yang lebih maksimal bila dalam reaksinya dibantu oleh katalis Al-MCM-41 dengan tipe pori mesopori. Hasil perpaduan antara minyak limbah polipropilen dan biodiesel minyak nyamplung perlu diteliti karena komposisi dua bahan ini sangat berdampak terhadap produk BBC yang terbentuk. Untuk mengetahui komposisi yang menghasilkan BBC dengan jumlah lebih banyak serta sesuai spesifikasi dari BBC gasolin, dilakukan variasi komposisi terhadap minyak limbah polipropilen dan ko-reaktan biodiesel minyak nyamplung pada proses perengkahan.

Produk BBC yang diperoleh dilakukan karakterisasi fisik berupa titik nyala, densitas dan nilai kalor untuk mengetahui BBC yang dihasilkan memiliki karakteristik fisik yang serupa dengan bahan bakar premium dengan standar SNI 06-3506-1994. Uji menggunakan analisis *Gas Chromatography – Mass Spectrometer* (GC-MS) dilakukan untuk mengetahui komponen hidrokarbon penyusun pada bahan bakar cair yang dihasilkan. Apabila karakteristik fisik serupa dan komponen yang dihasilkan memenuhi spesifikasi dari bahan bakar jenis premium, maka bahan bakar cair hasil dari perengkahan katalitik minyak limbah polipropilen dengan biodiesel nyamplung ini dapat digunakan sebagai salah satu alternatif pengganti bahan bakar jenis premium serta mengatasi masalah pengolahan limbah plastik polipropilena.

4.1.1 Produksi Bahan Bakar Cair Plastik

Bahan baku yang digunakan dalam penelitian ini berupa polipropilena (PP). Polipropilena diperoleh dari limbah gelas plastik yang sering dijumpai pada kehidupan sehari-hari contohnya plastik gelas minuman. Plastik polipropilena yang digunakan dalam penelitian ini merupakan gelas plastik ukuran 240 ml seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



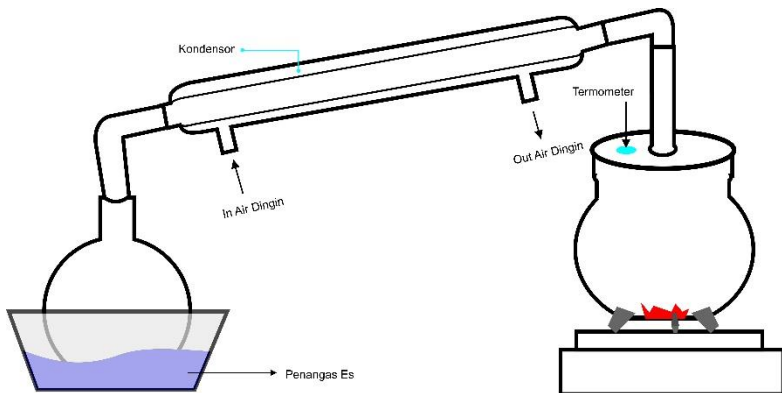
Gambar 4. 1 Gelas Plastik Polipropilena

Gelas plastik yang digunakan tidak berwarna, lentur dan fleksibel. Gelas plastik polipropilena dikumpulkan dari tempat pembuangan akhir (TPA) Trowulan, Mojokerto. Pada TPA dilakukan pengolahan pada gelas plastik hingga menjadi cacahan dengan ukuran yang kecil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Gelas plastik dibentuk menjadi cacahan untuk memperkecil ukuran limbah sehingga reaksi perengkahan plastik dapat berlangsung lebih cepat dan efisien. Cacahan plastik ditimbang dengan berat 500 gram untuk satu kali proses perengkahan tanpa menggunakan katalis.



Gambar 4.2 Cacahan Limbah Plastik

Dalam penelitian ini dilakukan pengolahan plastik menjadi bahan bakar cair dengan perengkahan tanpa katalis. Konversi awal yang dilakukan menggunakan perengkahan termal. Sintesis bahan bakar minyak plastik dilakukan dalam reaktor jenis *continuous reactor* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Reaktor Perengkahan Termal Polipropilena

Perengkahan limbah plastik dilakukan dalam reaktor tertutup. Pada reaktor ini terdapat bagian utama yakni *chamber reaktor*, konektor, kondensor dan labu penampung. *Chamber reaktor* berkapasitas 2 L digunakan sebagai tempat terjadinya proses pirolisis atau perengkahan. Konektor digunakan sebagai

penghubung *chamber reaktor* dengan kondensor. Kondensor dengan suhu yang rendah berfungsi untuk membantu proses kondensasi fasa gas bahan bakar yang terbentuk ke fasa cair. Labu penampung berfungsi untuk menampung hasil sintesis bahan bakar minyak dari plastik. Konektor diletakkan pada atas reaktor sehingga gas hasil perengkahan dapat mengalir dengan mudah menuju kondensor untuk proses kondensasi.

Sintesis bahan bakar cair dilakukan dengan prinsip destilasi. Sebanyak 500 g sampel limbah plastik polipropilena (PP) cacahan dimasukkan ke dalam *chamber reaktor*. Konektor disusun sedemikian rupa hingga melekat pada sisi atas *chamber reaktor*. Reaktor dipanaskan hingga mencapai Temperatur 250°C dengan total proses reaksi selama 120 menit.. Limbah polipropilen dikonversi menjadi gas dan dialirkan menuju kondensor melalui konektor. Gas yang terbentuk terkondensasi menjadi bahan bakar cair. Bahan bakar cair ditampung dalam *oil tank* yang berada di bagian bawah sistem. Pada satu kali reaksi perengkahan plastik dalam waktu 120 menit didapatkan sekitar 600 mL bahan bakar cair minyak plastik. Produk minyak plastik ditunjukkan pada Gambar 4.4. Minyak plastik yang didapatkan berupa cairan berwarna kuning jernih.

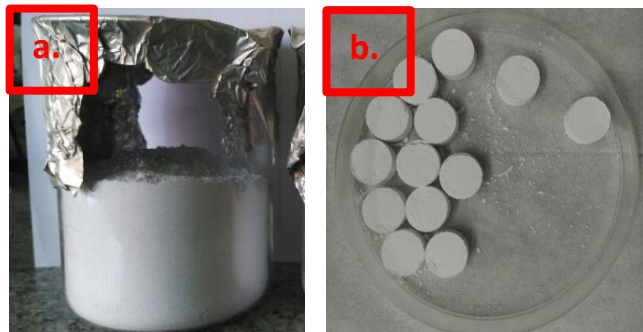


Gambar 4.4 Bahan Bakar Minyak Plastik Hasil Perengkahan Termal Polipropilena

4.1.2 Hasil Produksi Bahan Bakar Cair dari Limbah Plastik Polipropilena dengan Ko-Reaktan Biodiesel Minyak Biji Nyamplung

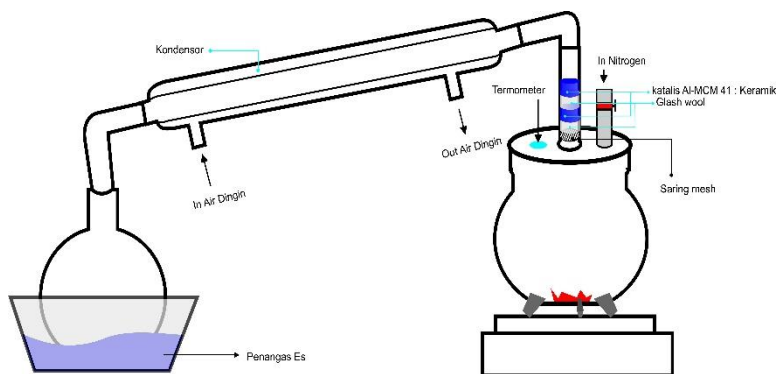
Sampel pada Sintesis Bahan Bakar Cair Plastik Ko-reaktan biodiesel minyak nyamplung ini berupa bahan bakar cair plastik dan biodiesel minyak nyamplung. Reaktan yang digunakan pada percobaan ini adalah variasi komposisi plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak nyamplung.

Dalam penelitian ini digunakan metode perengkahan katalitik dengan katalis Al-MCM-41. Al-MCM-41 diperoleh dari penelitian sebelumnya oleh Juwono dkk (2013). Padatan katalis Al-MCM-41 berupa serbuk halus berwarna putih. Al-MCM-41 dicampur dengan busi keramik yang berwarna abu-abu dengan perbandingan Al-MCM-41 : Keramik (7 : 3) seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5(a). Keramik berfungsi sebagai material pendukung untuk memaksimalkan proses perengkahan katalitik. Campuran Al-MCM-41 dan keramik dibentuk menjadi butir *pellet* dengan massa total 9 gram (3% berat reaktan), seperti ditunjukkan pada Gambar 4.5(b). Kinerja katalis lebih maksimal dengan bentuk *pellet* yang tidak terlalu padat dan rapat sehingga reaktan dan katalis dapat berinteraksi dengan baik.



Gambar 4. 5 (a) Katalis Al-MCM-41 : Keramik Busi (7 : 3), (b) Pellet Katalis

Perengkahan katalitik minyak plastik ko-reaktan biodiesel minyak nyamplung dilakukan dalam reaktor tertutup. Tipe reaktor yang digunakan yaitu *continuous reactor*. Pada reaktor ini terdapat bagian utama yakni *chamber reactor* dan *tubular reactor*, dengan bagian pendukung berupa kondensor, lubang gas nitrogen dan *oil storage*. Rangkaian *continuous reactor* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Rangkaian Reaktor perengkahan katalitik minyak plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak nyamplung

Chamber reactor berkapasitas 540 mL sebagai tempat terjadinya proses pirolisis atau perengkahan thermal. Reaktan berupa campuran dari minyak plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak nyamplung dimasukkan pada *chamber reactor*. Gas nitrogen berasal dari tabung dialirkan menuju *chamber reactor* selama 1 menit untuk menghilangkan gas oksigen pada sistem reaktor sehingga mengurangi terjadinya reaksi oksidasi pada saat perengkahan. Pemanasan dilakukan pada suhu 300°C dengan waktu reaksi selama 120 menit. Pemanasan ini akan mengubah fase campuran antara minyak plastik dan biodiesel minyak nyamplung dari cair menjadi gas. Selanjutnya gas yang terbentuk akibat pemanasan pada *chamber reactor* akan mengalir menuju *tubular*

reactor sedangkan fraksi yang lebih berat akan tetap berada pada *chamber reactor*. Terbentuknya produk yang berbeda ini menunjukkan perbedaan fraksi pada hasil perengkahan. Fraksi yang berat akan tetap berada pada *chamber reactor* menjadi kokas sedangkan fraksi ringan akan menekan ke segala arah salah satunya menuju ke *tubular reactor*. *Tubular reactor* digunakan sebagai wadah katalis dan tempat terjadinya perengkahan katalitik. *Tubular reactor* disusun dengan komposisi bertingkat dengan urutan *glass wool*, katalis, *glass wool*, katalis dan *glass wool*. *Glass wool* digunakan sebagai penahan agar katalis tidak bergerak dari *tubular reactor*. *Glass wool* sendiri memiliki sifat isolator panas sehingga tahan terhadap suhu tinggi. Pengisian *glass wool* pada *tubular reactor* tidak dimampatkan agar masih menyisakan ruang untuk gas hasil perengkahan plastik untuk menuju katalis serta keluar dari *tubular reactor* kemudian masuk pada kondensor. Pada perengkahan katalitik terjadi pemutusan ikatan karbon beta pada reaktan fase gas berupa fraksi ringan hasil perengkahan dari *chamber reactor* dengan berikatannya pada sisi aktif katalis Al-MCM-41. *Tubular reactor* terhubung langsung dengan kondensor yang mengkondensasi hasil perengkahan katalitik. Hasil kondensasi berupa cairan akan tertampung di dalam *oil tank* yang terletak di bawah kondensor dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Hasil Perengkahan Katalitik Bahan Bakar Cair dengan Variasi *Feedstock*

Volume bahan bakar cair yang dihasilkan dari proses perengkahan katalitik minyak plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak nyamplung menurun seiring bertambahnya ko-reaktan biodiesel minyak nyamplung. Penurunan yield bahan bakar cair terjadi pada variasi ko-reaktan biodiesel minyak nyamplung sebesar 50% dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Volume BBC dan Kokas Perengkahan Katalitik *Feedstock* Minyak Plastik dan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Nyamplung Tahap 1

Variasi <i>Feedstock</i>	Hasil (mL)	Kokas (mL)	% Yield	% Kokas	Jenis BBC
100% (P):0% (N)	45	162	15	54	PN0
80% (P):20% (N)	85	106	28,3	35,3	PN20
60% (P):40% (N)	56	157	18,6	52,3	PN40
50% (P):50% (N)	48	176	16	58,6	PN50
40% (P):60% (N)	27	198	9	66	PN60

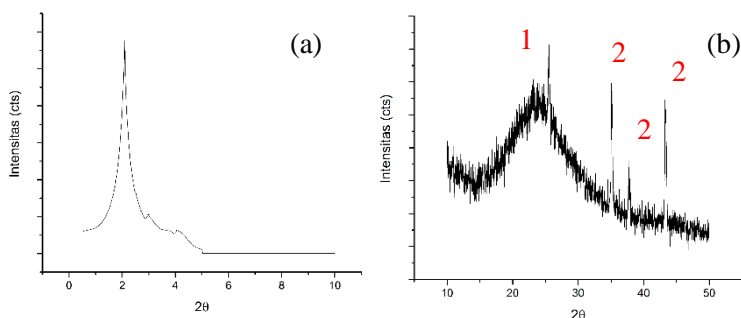
Bahan bakar cair dan kokas yang dihasilkan variatif dikarenakan sistem reaktor yang memungkinkan menghambat fraksi hidrokarbon ringan hasil perengkahan termal sulit menembus *tubular reactor*. Hal ini serupa dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Duan dkk (2017), peningkatan komposisi biomassa terhadap ko-reaktan polipropilena pada proses perengkahan katalitik mengurangi yield bahan bakar cair yang dihasilkan berbanding terbalik dengan peningkatan kokas yang dihasilkan.

4.2 Karakterisasi Katalis

4.2.1 Hasil Karakterisasi XRD

Pada SAXRD puncak pada $2\theta = 0,5^{\circ}$ – $4,9^{\circ}$ merupakan SAXRD dari penelitian yang dilakukan oleh (Juwono et al., 2017b) yang digabungkan dengan XRD Al-MCM-41 : keramik pada $2\theta=5^{\circ}$ – 10° . Puncak yang didapatkan terlihat turun dari puncak sebelumnya, sehingga penggabungan dua XRD ini cocok apabila

disatukan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8. Apabila digabungkan, puncak Al-MCM-41 tetap ada sehingga tidak merusak struktur heksagonal Al-MCM-41 akibat adanya keramik. Pada 2θ di atas $22,5^\circ$ terlihat puncak alami dari silika.

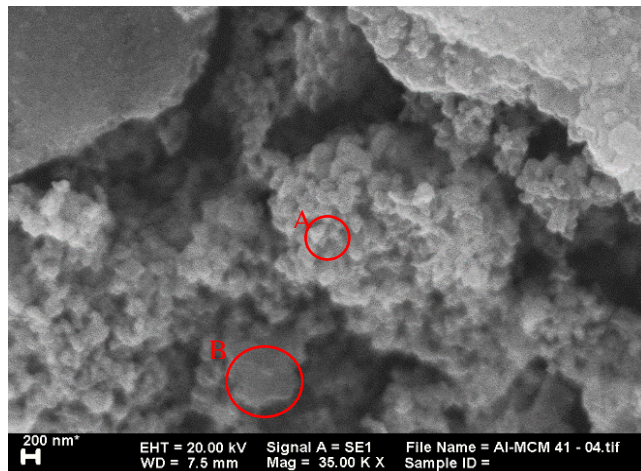
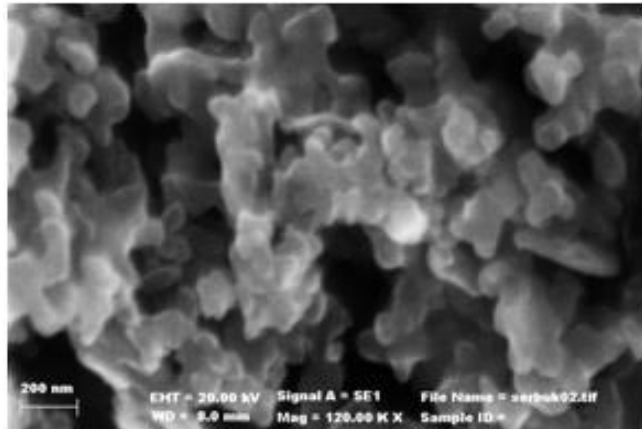


Gambar 4.8 (a) Defraktogram Puncak khas MCM-41, (b) Defraktogram Al dan Defraktogram Keramik Busi.

Pada $2\theta = 25,58^\circ$ seperti ditunjukkan pada nomor 1 di Gambar 4.8 (b) merupakan puncak kristal khas dari Al yang bergeser pada rentang 2θ di atas 20° . Pada 2θ $35,09^\circ$, $37,75^\circ$, $43,26^\circ$ seperti ditunjukkan pada nomor 2 di Gambar 4.8 (b) merupakan puncak kristal khas dari keramik. Hal ini menunjukkan bahwa katalis Al-MCM-41 : keramik (7:3) tidak mengubah struktur Al-MCM-41 maupun keramik.

4.2.2 Hasil Karakterisasi SEM

Pada hasil SEM, Al-MCM-41 terlihat menempel pada permukaan keramik. Penampakan Al-MCM-41 ditunjukkan pada A di Gambar 4.9 (a) dan penampakan keramik ditunjukkan pada B di Gambar 4.9 (b). Pada Al-MCM-41 murni, terlihat permukaan yang halus beraglomerasi dari padatan dengan struktur heksagonal, sedangkan pada variasi Al-MCM-41: keramik (7:3), terdapat partikel partikel halus dengan struktur heksagonal menempel pada permukaan keramik yang berfungsi sebagai padatan pendukung.



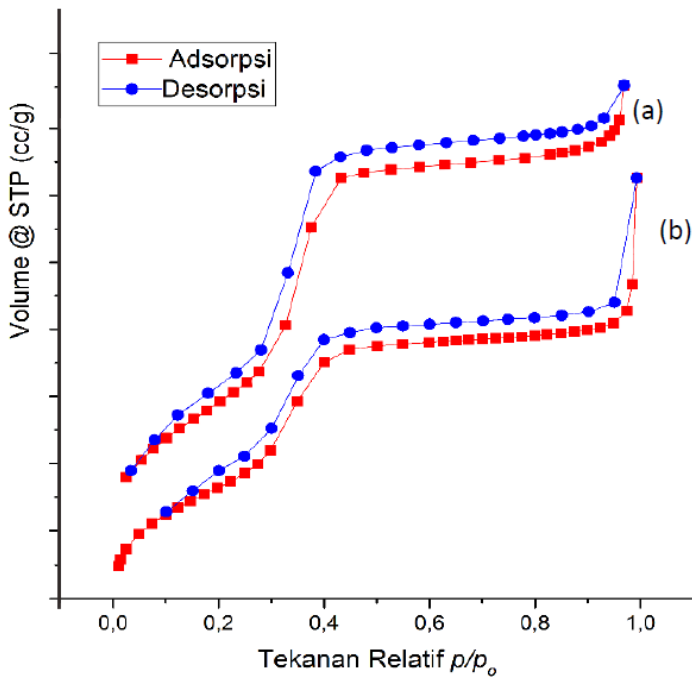
Gambar 4.9 (a) SEM Al-MCM-41 (b) SEM Al-MCM-41 :
Keramik (7:3)

4.2.3 Hasil Karakterisasi Adsorpsi – Desorpsi N₂

Pada Uji adsorpsi-desorpsi nitrogen yang dilakukan, terlihat grafik isotherm yang didapatkan merupakan grafik isotherm tipe iv. Grafik isotherm ditunjukkan pada Gambar 4.10. Grafik isotherm tipe iv merupakan grafik khas katalis Al-MCM-41. Hal ini membuktikan penambahan keramik busi dengan rasio

massa Al MCM-41 : keramik (7:3) tidak merubah tipe grafik isoterm dari Al-MCM-41. Luas permukaan katalis meningkat dari pada katalis Al-MCM-41 yang di sintesis sebelumnya oleh (Juwono dkk., 2017). Hal ini menunjukkan bahwa adanya keramik menambah luas permukaan Al-MCM-41.

Luas permukaan katalis Al-MCM-41 : keramik (7:3) dibandingkan dengan katalis Al-MCM-41 pada penelitian oleh (Juwono dkk., 2017), didapatkan bahwa luas permukaan meningkat dikarena bertambahnya luas permukaan dari keramik seperti Tabel 4.2. Volume pori dan radius rata-rata mengalami kenaikan akibat dari pencampuran dengan keramik karena tarikan dari keramik terhadap katalis Al-MCM-41.



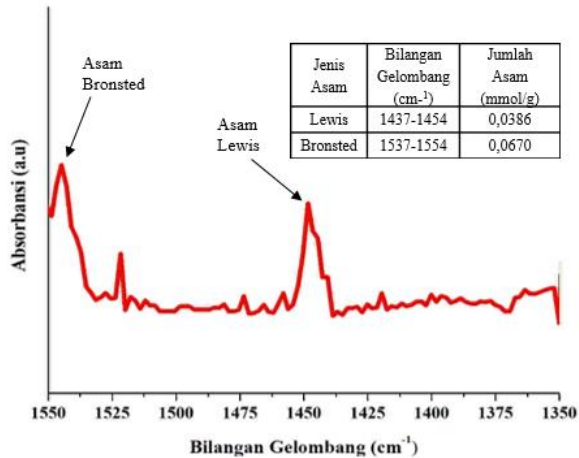
Gambar 4. 10 (a) Grafik isoterm Al-MCM-41 referensi (b) Grafik isoterm Al-MCM-41 : Keramik

Tabel 4.2 Data Hasil Uji Adsorpsi – Desorpsi N₂

No.	Katalis	Luas Permukaan (m ² /g)	Volume Pori (cc/g)	Pori Rata-rata Radi (Å)
1	Al-MCM-41	419,93	0,50	15,12
2	Al-MCM-41 : Keramik (7:3)	490,665	0,546	22,22

4.2.4 Keasaman Menggunakan FTIR-Piridin

Analisis FTIR dengan senyawa piridin digunakan untuk menentukan keasaman permukaan katalis Al-MCM-41. Spektrum yang ditunjukkan pada Gambar 4.11, menunjukkan interaksi antara senyawa piridin dengan sisi aktif katalis Al-MCM-41 pada bilangan gelombang 1.537-1.554 cm⁻¹ menunjukkan sisi aktif Asam Bronsted dengan jumlah 0,067 mmol/g. Sementara pada bilangan gelombang 1.437-1.454 cm⁻¹ dengan jumlah 0,0386 mmol/g menunjukkan interaksi antara senyawa piridin dengan sisi aktif Al-MCM-41 yang bersifat asam Lewis (Juwono dkk., 2107).



Gambar 4.11 Spektra Piridin-FTIR Katalis Al-MCM-41

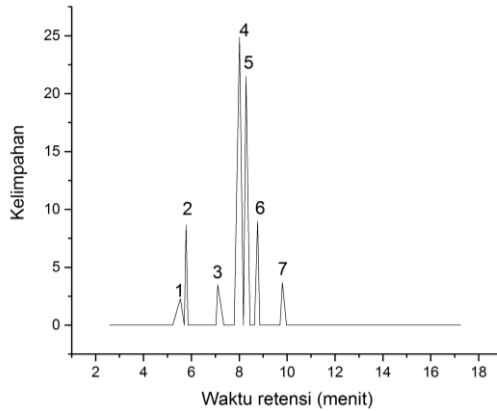
4.3 Analisa Fraksi Hidrokarbon Bahan Bakar Cair Dengan Gc-Ms

Bahan bakar cair dianalisa komposisi hidrokarbon yang terkandung didalamnya dengan menggunakan GC – MS. Berdasarkan analisa, diperoleh bahwa hasil perengkahan campuran minyak plastik dengan biodiesel minyak nyamplung dengan berbagai variasi komposisi tidak menghasilkan fraksi bensin (C7-C12) saja, melainkan mengandung fraksi hidrokarbon rantai pendek (C1-C6) maupun fraksi hidrokarbon rantai panjang (>C12). Pada puncak kromatogram bahan bakar cair, fraksi bensin (C7-C12) teramati pada temperatur di bawah 310°C yaitu 20 menit pertama saat pemisahan kromatografi terjadi seperti yang ditunjukkan oleh kromatogram variasi PN0 ditunjukkan pada Gambar 4.12.

Hasil analisis kromatogram bahan bakar cair hasil perengkahan seluruh variasi secara lengkap dapat dilihat pada lembar lampiran. *Yield* hidrokarbon bahan bakar cair (BBC) setiap variasi ditunjukkan pada Tabel 4.3

Tabel 4. 3 % Fraksi Komposisi Rantai Hidrokarbon dalam Bahan Bakar Cair (PN)

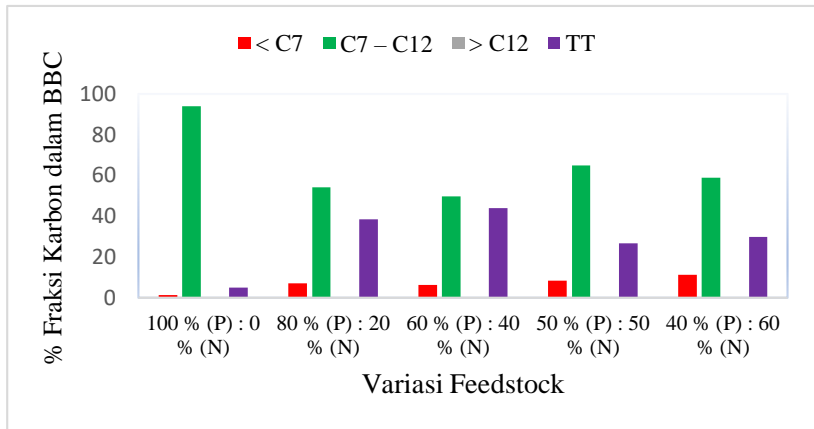
Variasi <i>Feedstock</i>	PN	% Komposisi rantai hidrokarbon dalam PN			
		< C7	C7-C12	> C12	TT
100% (P):0% (N)	PN0	1,27	93,92	0	4,82
80% (P):20% (N)	PN20	6,97	54,27	0,28	38,49
60% (P):40% (N)	PN40	6,28	49,65	0	44,04
50% (P):50% (N)	PN50	8,37	64,98	0	26,67
40% (P):60% (N)	PN60	11,28	58,84	0	29,87



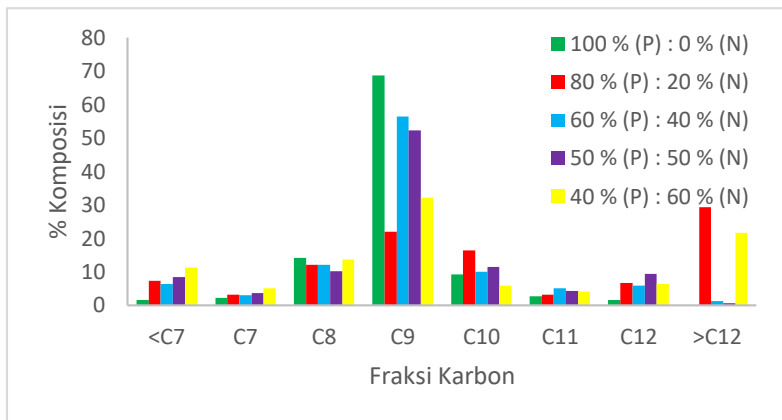
Gambar 4.12 Kromatogram Bahan Bakar Cair (PN) Hasil Perengkahan 100 % (P) : 0 % (N)

Komposisi bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan pada Tabel 4.3 menunjukkan bahwa perengkahan dengan semakin bertambahnya % biodiesel minyak nyamplung pada *feedstock* akan menaikkan komposisi hidrokarbon rantai pendek (C1 – C6). Penambahan biodiesel minyak nyamplung mengakibatkan perolehan fraksi bensin (C7 – C12) mengalami perubahan dimana data menunjukkan semakin tinggi % biodiesel minyak nyamplung pada *feedstock* maka, fraksi bensin (C7 – C12) yang diperoleh cenderung semakin menurun. Komposisi fraksi bensin (C7 – C12) terbanyak diperoleh dari perengkahan 100 % (P) : 0 % (N) mencapai 93,92%. Komposisi hidrokarbon penyusun bahan bakar cair (BBC) pada setiap variasi pada Gambar 4.12.

Fraksi bensin (C7 – C12) terdapat beberapa jenis fraksi yang menyusun, diantaranya C7, C8, C9, C10, C11, dan C12. Komposisi setiap fraksi untuk setiap variasi berbeda-beda, sehingga masing-masing fraksi pun memiliki kelimpahan yang berbeda. Komposisi fraksi bensin pada bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.14.



Gambar 4.13 Komposisi Hidrokarbon Bahan Bakar Cair (PN) Hasil Perengkahan setiap Variasi *Feedstock*



Gambar 4.14 Komposisi Fraksi Bensin pada Bahan Bakar Cair (PN) Hasil Perengkahan Setiap Variasi *Feedstock*

Berdasarkan data dan grafik tersebut terlihat bahwa setiap variasi *feedstock* mengandung fraksi yang bermacam-macam dari C7 hingga C12. Komposisi terbesar merupakan fraksi dari rantai karbon C9. Produk utama yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah bahan bakar hidrokarbon jenis bensin dengan fraksi C9

sebagai komponen penyusun yang dominan. Dapat dilihat bahwa pada total komposisi masing - masing variasi, komposisi fraksi bensin terbesar dihasilkan melalui perengkahan 100 % (P) : 0 % (N). Fraksi hidrokarbon C9 mendominasi dikarenakan selektivitas dari katalis Al-MCM-41 sedangkan, penambahan biodiesel minyak biji nyamplung ke dalam *feedstock* menyebabkan komposisi senyawa hidrokarbon fraksi bensin yang dihasilkan cenderung semakin menurun. Hal ini disebabkan karena rantai hidrokarbon biodiesel yang panjang dimana memerlukan energi lebih untuk membentuk rantai C9.

4.4 Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair dan Performa pada Mesin Gasolin

Karakteristik pada campuran bahan bakar cair (CPN) sangat penting diketahui untuk menentukan pengaruh penambahan bahan bakar premium RON 88 dan metil tersier butil eter (MTBE). Apabila karakteristik dari CPN yang dihasilkan memiliki peningkatan dibandingkan karakteristik dari bahan bakar cair hasil perengkahan dan sesuai dengan standar BBC gasolin, maka produksi campuran bahan bakar cair dapat dimanfaatkan sebagai alternatif untuk menggantikan bahan bakar gasolin. Terdapat beberapa parameter pengujian yang dilakukan diantaranya densitas, titik nyala, nilai kalor dan viskositas kinematik.

4.4.1 Nilai Kalor Campuran Bahan Bakar Cair (CPN)

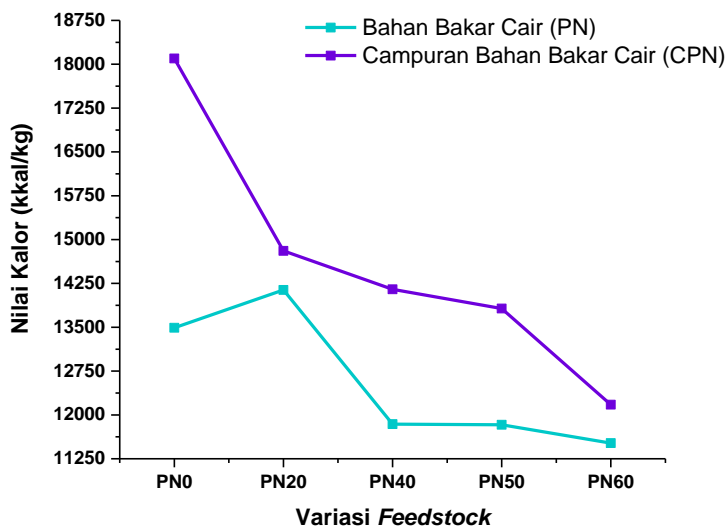
Nilai kalor pembakaran menyatakan jumlah panas/kalor yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah bahan bakar dengan udara/oksigen. Data nilai kalor suatu bahan bakar dapat digunakan untuk menghitung jumlah konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan suatu mesin dalam suatu periode pemakaian. Penentuan kalor campuran bahan bakar cair menggunakan bomb kalorimeter. Penentuan nilai kalor pada penelitian ini digunakan untuk membandingkan perubahan nilai kalor pada bahan bakar cair

hasil perengkahan (PN) terhadap penambahan bahan bakar premium (RON 88) dan aditif metil tersier butil eter (MTBE).

Hasil pengukuran bahan bakar premium (RON 88) digunakan sebagai standar pembandingan. Nilai kalor pembakaran premium (RON 88) didapatkan sebesar 9.871,88 kkal/kg. Standar gasolin yang dilaporkan oleh Ahmad dkk (2017) melaporkan nilai kalor pembakaran sebesar 10.150,95 kkal/kg. Bahan bakar cair (PN) hasil perengkahan minyak plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak biji nyamplung didapatkan nilai kalor terendah sebesar 11.517,19 kkal/kg pada variasi *feedstock* 40 % minyak plastik dengan 60% minyak biodiesel biji nyamplung dan nilai kalor tertinggi didapatkan sebesar 14.138,19 kkal/kg pada variasi *feedstock* 80 % minyak plastik terhadap 20% minyak biodiesel biji nyamplung. Sehingga produksi bahan bakar cair melalui perengkahan katalitik dianggap berhasil dikarenakan nilai kalor pembakaran yang dihasilkan diatas standar gasolin. Campuran bahan bakar cair (CPN) pada setiap variasi *feedstock* semuanya mengalami peningkatan nilai kalor setelah penambahan premium dan MTBE terhadap bahan bakar cair hasil perengkahan (PN) dan bahan bakar premium (RON 88) ditunjukkan pada Gambar 4.15.

Hasil Penentuan nilai kalor campuran bahan bakar cair (CPN) pada Gambar 4.15, menunjukkan peningkatan nilai kalor pembakaran BBC pada setiap variasi *feedstock*. Nilai kalor pembakaran campuran bahan bakar cair CPN0 menunjukkan peningkatan nilai kalor terbesar sebanyak 25,45 % terhadap nilai bahan bakar PN0 dengan variasi *feedstock* 100% minyak plastik : 0 % ko-reaktan biodiesel nyamplung dengan nilai kalor sebesar 18.098,44 kkal/kg. Nilai kalor bahan bakar cair CPN20 menunjukkan peningkatan nilai kalor terendah sebanyak 4,52 % terhadap nilai bahan bakar PN20 dengan variasi *feedstock* 80% minyak plastik : 20 % ko-reaktan biodiesel nyamplung dengan nilai kalor sebesar 14.807,81 kkal/kg. Sementara nilai kalor terendah

ditunjukkan pada bahan bakar cair CPN60 sebesar 12.175,31 kkal/kg meningkat sebanyak 5,4 %. Nilai kalor bahan bakar cair CPN40 meningkat sebanyak 16,3 % terhadap bahan bakar cair PN40 variasi *feedstock* 60% minyak plastik : 40 % ko-reaktan biodiesel nyamplung dengan nilai kalor sebesar 14.149,69 kkal/kg. Nilai kalor bahan bakar cair CPN50 meningkat sebanyak 14,38 % terhadap bahan bakar cair PN50 variasi *feedstock* 50% minyak plastik : 50 % ko-reaktan biodiesel nyamplung dengan nilai kalor sebesar 13.820,63 kkal/kg. Sementara nilai kalor bahan bakar cair TCPN0 didapatkan sebesar 10.200,93 kkal/kg hal ini menunjukkan aditif MTBE meningkatkan nilai kalor bahan bakar cair.



Gambar 4.15 Perbandingan Nilai Kalor Bahan Bakar Cair (PN) dengan Campuran Bahan Bakar Cair (CPN)

Peningkatan nilai kalor campuran bahan bakar cair cenderung diakibatkan penambahan aditif MTBE yaitu dengan meningkatkan jumlah kandungan oksigen dalam bahan bakar cair dan akan berpengaruh pada efisiensi pembakaran bahan bakar cair pada mesin gasolin (Cataluna dkk., 2010; Topgul, 2015). Bahan

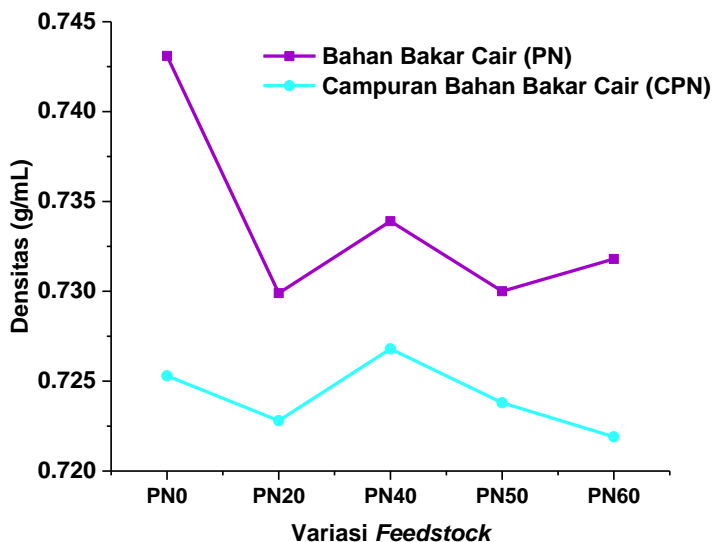
bakar pada umumnya harus memenuhi batas minimal kalor sesuai dengan standar ASTM D 4809-13/IP 12 tentang pengujian nilai kalor spesifikasi minyak. Seluruh bahan bakar cair hasil perengkahan (PN) dan campuran bahan bakar cair (CPN) produk penelitian ini telah memenuhi kriteria ASTM gasolin yang memiliki nilai kalor minimal sebesar 10.105,90 kkal/kg.

4.4.2 Densitas Campuran Bahan Bakar Cair

Densitas suatu sampel menunjukkan perbandingan antara massa persatuan volume. Densitas satu zat akan berbeda dengan zat yang lainnya. Pengujian densitas campuran bahan bakar cair (CPN) dalam penelitian ini penting untuk mengetahui pengaruhnya penambahan bahan bakar komersial terhadap karakteristik pembakaran ataupun hubungannya dengan efektivitas katalis terhadap perengkahan limbah plastik PP serta berpengaruh pada seberapa banyak bahan bakar yang dapat masuk pada mesin yang berbentuk silinder (Jahirul dkk., 2015). Penentuan densitas campuran bahan bakar cair dapat dilakukan dengan piknometer. Piknometer kosong yang telah tercatat volume serta tertimbang massanya diisi dengan sampel bahan bakar cair hingga penuh kemudian ditimbang kembali massanya. Densitas sampel bahan bakar cair diperoleh dari perbandingan massa sampel (diperoleh dari selisih massa piknometer terisi dan piknometer kosong) terhadap volume piknometer. Penentuan densitas bahan bakar cair dilakukan pada temperatur 15°C.

Densitas campuran bahan bakar cair (CPN) dengan volume total sebesar 205 mL yang memiliki komposisi 10 % bahan bakar cair dengan 90 % bahan bakar premium dalam 200 mL. MTBE ditambahkan 2,45% volume dalam 205mL. dapat memiliki nilai densitas yang lebih kecil dari pada bahan bakar cair hasil perengkahan pada masing-masing variasi *feedstock* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.16. Penurunan densitas pada campuran

bahan bakar cair (CPN) diakibatkan densitas yang dimiliki oleh bahan bakar premium yang lebih rendah dari pada bahan bakar cair (PN) yaitu sebesar $0,736 \text{ g/cm}^3$. Densitas bahan bakar cair jenis CPN0 sebesar $0,74 \text{ g/cm}^3$ Aditif metil tersier butil eter memiliki nilai densitas $0,744 \text{ g/cm}^3$ dengan sifat yang dapat larut sempurna pada bahan bakar premium sehingga penambahan dalam campuran bahan bakar cair cenderung mengurangi nilai densitas bahan bakar premium (Topgul, 2015).



Gambar 4.16 Perbandingan Densitas Bahan Bakar Cair (PN) dengan Campuran Bahan Bakar Cair (CPN)

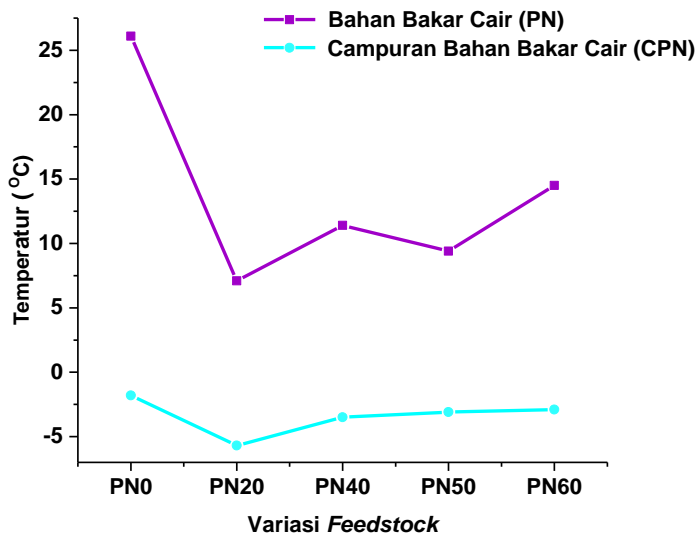
Densitas bahan bakar cair hasil perengkahan katalitik minyak plastik dengan ko-reaktan biodiesel minyak nyamplung memiliki densitas tertinggi pada bahan bakar cair PN0 yaitu sebesar $0,743 \text{ g/cm}^3$. Sementara densitas terendah bahan bakar cair PN20 yaitu sebesar $0,73 \text{ g/cm}^3$. Seluruh campuran bahan bakar cair (CPN) menunjukkan penurunan densitas dari pada hasil perengkahan (PN) pada berbagai variasi *feedstock* seperti yang

ditunjukkan pada Gambar 4.16. Dengan nilai densitas terbesar pada jenis campuran bahan bakar cair CPN40 yaitu sebesar $0,727 \text{ g/cm}^3$. Penelitian sebelumnya mengenai penambahan solar atau bahan bakar diesel terhadap massa jenis biodiesel minyak nyamplung yang akan diaplikasikan dalam mesin diesel juga terjadi penurunan massa jenis dikarenakan penambahan campuran senyawa yang memiliki massa jenis lebih kecil dengan jumlah tertentu (Juwono dkk., 2017, Atabani dkk., 2013., Topgul., 2015). Seluruh bahan bakar cair (PN) dan campuran bahan bakar cair (CPN) ini telah memenuhi kriteria berdasarkan SNI 06-3506-1994 tentang bahan bakar bensin dengan nilai densitas yang diizinkan minimal sebesar $0,715 \text{ g/cm}^3$ dan maksimal sebesar $0,77 \text{ g/cm}^3$ pada pengukuran temperatur 15°C .

4.4.3 Titik Nyala Campuran Bahan Bakar Cair

Titik nyala merupakan suhu terendah suatu bahan bakar yang bila dipanaskan akan menguap, sehingga uap yang telah bercampur dengan udara pada tekanan normal akan menyala dengan adanya percikan api. Penentuan titik nyala campuran bahan bakar cair (CPN) penting untuk dilakukan karena berhubungan dengan keamanan dan keselamatan dalam penyimpanan dan penanganannya. Pengukuran juga dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan premium (RON 88) dan penambahan metil tersier butil eter (MTBE) terhadap perubahan titik nyala bahan bakar hasil perengkahan minyak plastik dengan ko-reaktan minyak nyamplung. Sampel produk berupa campuran bahan bakar cair dituangkan ke dalam cawan penguap. Termometer dipasang di atas cawan penguap hingga menyentuh bahan bakar cair. Sumber api dari pemantik api yang dinyalakan pada sampel. Suhu yang tercatat merupakan pada termometer saat terjadi nyala pertama setelah diberikan sumber api. Campuran bahan bakar cair akan dikondisikan pada suhu terendah menggunakan penangas es batu. Penangan es mampu mencatatkan suhu terendah hingga $-7,8^\circ\text{C}$.

Premium (RON 88) diuji terlebih dahulu untuk membandingkan pengaruhnya pada hasil produksi campuran bahan bakar cair. Titik nyala premium (RON 88) didapatkan pada suhu $-5,8^{\circ}\text{C}$ dan bahan bakar cair TCPN0 sebesar $-5,2^{\circ}\text{C}$. Sementara hasil penentuan titik nyala campuran bahan bakar cair (CPN) dibandingkan dengan bahan bakar cair hasil perengkahan (PN) pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17 Perbandingan Titik Nyala Campuran Bahan Bakar Cair (CPN) terhadap Bahan Bakar Cair (PN)

Gambar 4.17, menunjukkan bahwa terjadi penurunan titik nyala bahan bakar cair CPN terhadap PN pada setiap variasi *feedstock*. Gambar 4.17, menunjukkan campuran bahan bakar cair CPN0 memiliki titik nyala tertinggi pada suhu $-1,8^{\circ}\text{C}$. campuran bahan bakar cair CPN20 memiliki titik nyala terendah pada suhu $-5,7^{\circ}\text{C}$ dibandingkan dengan bahan bakar cair titik nyala terendah juga terjadi pada bahan bakar cair PN20 yaitu pada suhu $7,1^{\circ}\text{C}$. Tren grafik kenaikan dan penurunan suhu tetap mengikuti tren

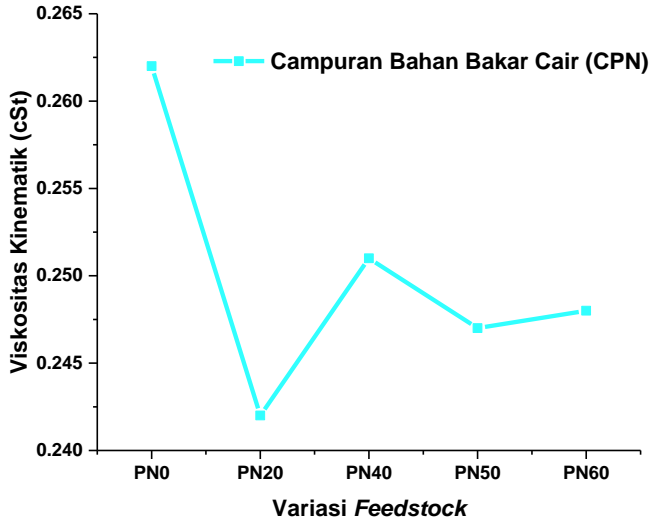
grafik BBC hasil perengkahan dikarenakan pengaruh komposisi senyawa fraksi hidrokarbon rantai pendek yang terkandung.

Sementara penurunan titik nyala campuran bahan bakar cair (CPN) terhadap bahan bakar cair hasil perengkahan (PN) menunjukkan pengaruh penambahan bahan bakar premium (RON 88) sebagai komponen terbesar dalam produksi campuran bahan bakar cair (CPN). Seperti yang dilaporkan oleh Atabani dkk (2014) titik nyala bahan bakar cair campuran cenderung menurun dengan penambahan bahan bakar komersial seperti diesel. Hal ini berhubungan langsung dengan pembentukan titik uap bahan bakar cair yang cukup kaya sehingga dapat menimbulkan api apabila diberi percikan api, sehingga volatilitas komposisi pembentuk bahan bakar cair campuran sangat berpengaruh pada karakteristik titik nyala bahan bakar cair. Aditif MTBE juga memiliki pengaruh terhadap penurunan titik nyala dikarenakan memiliki titik nyala yang sangat rendah pada suhu -43°C .

4.4.4 Viskositas Campuran Bahan Bakar Cair

Viskositas merupakan salah satu parameter fisik yang penting pada suatu bahan bakar. Viskositas erat kaitannya dengan kekentalan suatu bahan bakar cair. Jika bahan bakar terlalu kental, maka dapat menyulitkan aliran, pemompaan, serta penyalaan yang akan menuju ruang pembakaran dalam mesin (Setiawati & Edwar, 2012). Pengukuran viskositas pada penelitian ini menggunakan viskometer ostwald pada suhu 40°C . Hasil pengujian viskositas campuran bahan bakar cair (CPN) pada penelitian ditampilkan pada Gambar 4.18. Hasil pengujian viskositas campuran bahan bakar cair (CPN) pada penelitian menunjukkan viskositas cenderung berkurang seiring dengan densitas bahan bakar cair (PN) yang juga semakin turun. Hal ini diakibatkan penambahan jumlah ko-reaktan biodiesel minyak nyamplung. Atabani dkk (2014) melaporkan viskositas bahan bakar cair cenderung

bertambah dengan penambahan biodiesel minyak nyamplung. Seluruh campuran bahan bakar cair (CPN) memiliki viskositas dibawah 0,3 cSt. Hal ini diakibatkan viskositas komponen utama campuran yaitu bahan bakar premium diukur memiliki viskositas hanya 0,275 cSt dan bahan bakar TCPN0 sebesar 0,274 cSt.



Gambar 4.18 Viskositas Campuran Bahan Bakar Cair

Berdasarkan baku mutu internasional yang dikeluarkan ASTM D 445 yang terdapat pada lampiran nilai viskositas yang diperbolehkan untuk bahan bakar jenis gasolin adalah <1,17 cSt. Semua campuran bahan bakar cair hasil penelitian sudah memenuhi standar baku mutu bensin yang diizinkan.

4.4.5 Performa Jenis Bahan Bakar Cair

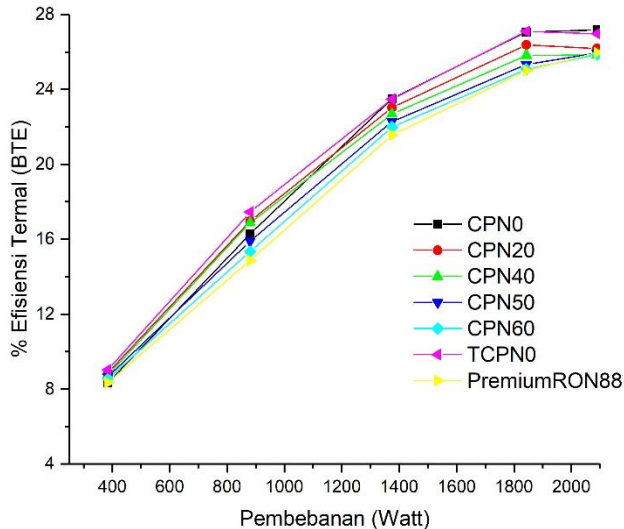
Kinerja campuran bahan bakar cair yang telah ditambahkan aditif MTBE yaitu CPN0, CPN20, CPN40, CPN50 dan CPN60 dibandingkan dengan campuran bahan bakar cair tanpa aditif MTBE yaitu TCPN0 dan bahan bakar premium untuk mengetahui pengaruh penambahan MTBE pada kinerja bahan bakar. Mesin

generator set gasolin digunakan untuk mengukur parameter *brake thermal efficiency* (BTE) yang menyatakan konversi energi panas menjadi energi mekanik pada mesin gasoline. Karakteristik viskositas, densitas dan nilai kalor yang telah diketahui sebelumnya pada campuran bahan bakar cair sangat berpengaruh terhadap kinerja campuran bahan bakar cair.

Persen efisiensi termal campuran bahan bakar cair semakin meningkat seiring dengan meningkatnya pembebanan (watt) pada mesin gasolin seperti ditunjukkan pada Gambar 4.19. Persen efisiensi termal premium RON 88 pada pembebanan 2090 watt diketahui sebesar 25,97 %. Jenis campuran bahan bakar cair yaitu CPN40, CPN50 dan CPN60 pada pembebanan yang sama memiliki persen efisiensi termal lebih rendah dibandingkan bahan bakar jenis premium dengan nilai berturut-turut sebesar 25,84 %, 25,94 % dan 25,87%. Campuran bahan bakar cair CPN20 memiliki persen efisiensi termal sebesar 26,18%. Sementara nilai efisiensi terbesar ditunjukkan pada campuran bahan bakar cair CPN0 ((10 % (PN) : 90 % (Premium), 2,45% MTBE)) didapatkan efisiensi termal sebesar 27,18%.

Persen efisiensi termal bahan bakar cair cenderung dipengaruhi oleh nilai kalor campuran bahan bakar cair. Pada pengujian sebelumnya campuran bahan bakar cair CPN0 dan CPN20 memiliki nilai kalor yang tinggi yaitu berturut-turut sebesar 18.098,49 kg/kkal dan 14.807,81 kg/kkal. Pada penelitian yang dilakukan oleh Nathagopal dkk (2017) efisiensi termal pada campuran bahan bakar biodiesel dipengaruhi oleh viskositas, densitas dan nilai kalor. Ketiga parameter tersebut sangat mempengaruhi jumlah bahan bakar yang masuk pada karburator dan proses pembakaran. Efisiensi termal CPN0 juga dipengaruhi oleh fraksi bensin (C7-C12) sebesar 93,92% yang terbentuk dari proses perengkahan variasi *feedstock* 100 % minyak plastik polipropilen. Persen fraksi bensin (C7-C12) yang terbentuk pada

proses perengkahan bahan bakar cair memungkinkan kinerja campuran bahan bakar cair dapat mendekati bahkan melampaui bahan bakar jenis Premium.



Gambar 4.19 *Brake Thermal Efficiency (BTE) Jenis Bahan Bakar Cair*

Pengaruh penambahan aditif MTBE pada kinerja bahan bakar cair dapat diketahui dari perbandingan efisiensi termal yang dihasilkan dari bahan bakar jenis CPN0 dibandingkan dengan bahan bakar jenis TCPN0 (tanpa aditif MTBE). Persen efisiensi termal bahan bakar jenis TCPN0 juga mengalami peningkatan seiring bertambahnya pembebanan pada mesin generator set gasoline. Persen efisiensi termal bahan bakar jenis TCPN0 diketahui sebesar 26,98%. Penambahan aditif MTBE pada campuran bahan bakar cair jenis CPN0 menyebabkan peningkatan efisiensi termal sebesar 0,74 %. Topgul dkk (2015) juga melaporkan penambahan aditif MTBE sebesar 10% dapat meningkatkan persen efisiensi termal bahan bakar jenis gasolinn.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada penelitian ini telah diproduksi bahan bakar cair dari limbah plastik polipropilen dan ko-reaktan biodiesel nyamplung menggunakan katalis Al-MCM-41 : Keramik (7:3) dengan kolom termodifikasi. Fraksi hidrokarbon gasolin (C7-C12) didapatkan paling besar terdapat pada bahan bakar PN0 pada variasi *feedstock* 100 % polipropilen sebesar 93,92 %. Campuran bahan bakar cair dengan komposisi 10 % BBC : 90 % Premium 88 dengan aditif metil tersier butil eter (MTBE) sebesar 2,45 % dalam volume 205 mL. Kinerja campuran bahan bakar cair jenis CPN0 memiliki efisiensi termal tertinggi sebesar 27,18%. dengan nilai densitas sebesar 0,725 g/cm³, titik nyala sebesar -1.8 °C, viskositas sebesar 0,262 cSt dan nilai kalor sebesar 18.098,44 kkal/kg. Karakteristik bahan bakar cair (PN) dan campuran bahan bakar cair (CPN) yang dihasilkan sesuai dengan SNI 06-3506-1994. Kinerja bahan bakar cair jenis CPN0 meningkat akibat penambahan MTBE dibandingkan bahan bakar jenis TCPN0 sebesar 0,74 % dan premium sebesar 4,66 % pada pembebanan 2090 watt.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya diharapkan perengkahan pada satu variasi *feedstock* saja apabila diaplikasikan untuk mengetahui kinerja bahan bakar dengan variasi pencampuran dengan bahan bakar komersial seperti premium.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- Abbas-Abadia, M. S., Haghighi, M. N., Yeganeh, H. dan McDonald, A. G, 2014. Evaluation of Pyrolysis Process Parameters on Polypropylene Degradation Products. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Volume 109, pp. 272–277.
- Adamson, 1994. Physical Chemistry of Surface. New York: John Wiley & Sons.
- Ahmad, I., Khana, M. I., Khan, H., Ishaqa, M., Khana, R., dan Gula, K, 2017. Influence of waste brick kiln dust on pyrolytic conversion of polypropylene in to potential automotive fuels. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Volume 126, pp. 247–256.
- Ajayi, E.O., Sadimenko, A.P dan Afolayan, A.J., 2016. GC–MS Evaluation of Cymbopogon citratus (DC) Stapf Oil Obtained Using Modified Hydrodistillation and Microwave Extraction Methods. *Food Chemistry*, Volume 209, pp. 262–266.
- Antonakou, E, Lappas, A, Nilsen, M. H., Bouzga, A., Stocker, M.,, 2006. Evaluation of various types of Al-MCM-41 materials as catalysts in biomass pyrolysis for the production of bio-fuels and chemicals. *Fuel*, Volume 85, pp. 2202-2212.
- Araújo, A. M. M., Lima, R. O., Gondim, A. D., Diniz, J., Souza, L. D., Araujo, A. Souza, 2017. Thermal and catalytic pyrolysis of sunflower oil using Al-MCM-41. *Renewable Energy*, Volume 101, pp. 900-906.
- Ashok, B., Nanthagopal, K., Vignesh, D. S, (*in press*). Calophyllum Inophyllum Methyl Ester Biodiesel Blend as an Alternate Fuel for Diesel Engine Applications.

- Atabani, A. E dan César, A. S, 2014. Calophyllum Inophyllum. – A Prospective Non-Edible Biodiesel Feedstock. Study of Biodiesel Production, Properties, Fatty Acid Composition, Blending and Engine Performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 37, pp. 644–655.
- Barker, G.C., 2017. *Biofuels. Encyclopedia of Applied Plant Sciences, 2nd edition*, Volume 3, pp. 153-158.
- Berrios, M., Chica, A.F., Martín A., 2010. Study of esterification and transesterification in biodiesel production from used frying oils in a closed system. *Chemical Engineering Journal*, Volume 160, pp. 473-479.
- Bora, D. K., Das, L. M., Babu, M. K, G., 2008. Performance of mixed biodiesel fueled diesel engine. *Journal of Scientific & Industrial Research*, Volume 67, pp. 73-6.
- Cataluña, R., Dalávia, D., Silva, R. d., Menezes, E., Venturi, V. dan Wagner, R., 2011. Acceleration Tests Using Gasolines Formulated with di-TAE, TAE and MTBE Ethers. *Fuel*, Volume 90, pp. 992–996.
- Chang, R., 2003. *Kimia Dasar : Konsep-Konsep Inti Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Duan, D., Wang, Y., Dai, L., Ruan, R., Zhao, Y., Fan, L. l., Tayier, M. dan Liu, Y, 2017. Ex-situ Catalytic Co-Pyrolysis of Lignin and Polypropylene to Upgrade Bio-Oil Quality by Microwave Heating. *Bioresource Technology*, Volume 241, pp. 207-213.
- Fattah, Rizwanul, I, M., Kalam, M, A., Masjuki, H,H., Wakil, M,A, 2014. Biodiesel production, characterization, engine performance and emission characteristics of Malaysian

- Alexandrian laurel oil. *Royal Society of Chemistry Advances*, Volume 4, pp. 17787–17796.
- Fransisca, G. A., 2012. *Sintesis Renewable Diesel dengan Metode Deoksigenasi Menggunakan Katalis Pd/C dan NiMo/C*, Jakarta: Universitas Indonesia.
- Friday, J,B, dan Okada, D., 2006. Honolulu, Hawai‘I: Permanent Agriculture Resources (PAR),
- Gaurav, A., Flora, T.T., Rempel, G. L, 2016. A new green process for biodiesel production from waste oils via catalytic distillation using a solid acid catalyst e Modeling, economic and environmental analysis. *Green Energy & Environment*, Volume 1, pp. 62-74.
- Gibson, L. T., 2014. Mesosilica materials and organic pollutant adsorption: part A removal from air. *Chemical Society Reviews*, Volume 43, pp. 5163-5172.
- Haber, J., Block, J.H. dan Delmon B., 1995. Manual of Methods and Procedures for Catalyst Characterizatio. *Pure and Applied Chemistry*, Volume 67, pp. 1257-1306.
- Hermabessiere, L., Dehaut, A., Paul-Pont, I., Lacroix, C., Jezequel, R., Soudant, P. dan Duflos, 2017. Occurrence and Effects of Plastic Additives on Marine Environments and Organisms: A review. *Chemosphere*, Volume 182, pp. 781-793.
- Heydariaraghi, M., Ghorbanian, S., Hallajisani, A., Salehpour, A., 2016. Fuel Properties of the Oils Produced From The Pyrolysis Of Commonly-used Polymers: Effect of Fractionating Column. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Volume 121, pp. 307–317.
- Irzon, R., 2012. Perbandingan Caloric Value Beragam Bahan Bakar Minyak yang Dipasarkan di Indonesia Menggunakan Bomb Kalorimeter. *Jurnal Sumber Daya Geologi* , Volume 22 (4), pp. 217-223.

- Jahirul, M. I., Browna, R. J., Senadeera, W., Ashwath, N., Rasul, M. G., Rahmana, M. M., M, F., Hossain, Moghaddam, L., Islam, M. A. Dano'hara, I. M., 2015. Physio-chemical assessment of beauty leaf (*Calophyllum inophyllum*) as second-generation biodiesel feedstock. *Energy Reports*, Volume 1, pp. 204-215.
- Jiraroj, D., Chaipurimat, A., Kerdsa, N., Hannongbua, S. dan Tungasmita, D. N., 2016. Catalytic Cracking of Polypropylene Using Aluminosilicate Catalysts. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, Volume 120, pp. 529–539.
- Juwono, H., Triyono, T., Sutarno, S., Wahyuni, E.T., Harmami, H., Ulfin, I., Kurniawan, F., 2017. Production of Hydrocarbon (C7-C20) from Hydrocracking of Fatty Acid Methyl Esters on Pd/Al-MCM-41 Catalyst. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, Volume 12, pp. 337–342.
- Juwono, H., Triyono, T., Sutarno, S., Wahyuni, E.T., 2013. The Influence of Pd Impregnation Into Al-MCM-41 on the Characters and Activity For Biogasoline Production By Catalytic Hydrocracking of FAMES From Nyamplung Seed Oil (*Calophyllum Inophyllum*). *Indonesian Journal of Chemistry*, Volume 13, pp. 171 - 175.
- Kalargaris, I., Tian, G. dan Gu, S., 2018. Experimental Characterisation of A Diesel Engine Running on Polypropylene Oils Produced at Different Pyrolysis Temperatures. *Fuel*, Volume 211, pp. 797-803.
- Kassargy, C., Awad, S., Burnens, G., Kahine, K. dan Tazerout, M., 2017. Experimental Study of Catalytic Pyrolysis of Polyethylene and Polypropylene Over USY Zeolite and Separation To Gasoline and Diesel-Like Fuels. *Journal*

- of Analytical and Applied Pyrolysis*, Volume 127, pp. 31-37.
- Khalife, E., Tabatabaei, M., Demirbas, A., Aghbashlo, M., 2017. Impacts of additives on performance and emission characteristics of diesel engines during steady state operation. *Progress in Energy and Combustion Science*, Volume 59, pp. 32-78.
- Khan, T. M. Y., A.E.Atabani, Badruddin, I. A., Badarudin, A., Khayoon, M. S. dan S.Triwahyono, 2014. Recent Scenario and Technologies to Utilize Non-Edible Oils for Biodiesel Production,. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 37, pp. 840–851.
- Kumar, D., Singh, B., Baudh, K., Korstad, J, 2015. Bio-oil and biodiesel as biofuels derived from microalgal oil and their characterization by using instrumental techniques. *Center for Environmental Sciences*, Volume 7, pp. 87-96.
- Kumar, R., Pandev, K., Chandrashekar, N dan Mohan, S., 2011. Study of age and height wise variability on caloric value and other fuel properties of Eucalyptus hybrid, Acacia auriculaeformis and Casuarina equisetifolia. *Biomass and Bioenergy*, Volume 35, pp. 1339-1344.
- Lamas, D. G., Neto, M. O., Kellermann, Guinther, K., dan Craievich, A. F., 2015. X-Ray Diffraction and Scattering by Nanomaterials. In: N. O. J. Osvaldo, ed. *Nanocharacterization Techniques*. Sao Paulo: Matthew Deans.
- Lamba, N., Modak, J. M. dan Madras, G., 2017. Fatty Acid Methyl Esters Synthesis From Non-Edible Vegetable Oils Using Supercritical Methanol and Methyl Tert-Butyl Ether. *Energy Conversion and Management*, Volume 138, pp. 77-83.

- Lee, H. W., Choi, S. J., Jeon, J.-K., Park, S. H., Jung, S.-C. dan Park, Y.-K., 2015. Catalytic Conversion of Waste Particle Board and Polypropylene Over H-Beta and HY Zeolites. *Renewable Energy*, Volume 79, pp. 9-13.
- Li, Chengwu, 2014. Modification and Characterization of Polypropylene. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, Volume 7(6), pp. 1467-1473.
- Luttrell, W. E., 2010. Methyl tert-butyl ether (MTBE). *Journal of Chemical Health & Safety*, Volume 17, pp. 1871-5532.
- Maddah, Hisham A., 2016. Polypropylene as a Promising Plastic: A Review. *American Journal of Polymer Science*, Volume 1(6), pp. 1-11.
- Mao, R. L. V., Yan, H. T., Muntasar, A. dan Al-Yassir, N., 2013. Hydrocarbon Feeds to Use in the Thermo-Catalytic Steam-Cracking Process for the Selective Production of Light Olefins. In: *New and Future Developments in Catalyst 1st Edition*. Amsterdam: Elsevier, pp. 143-173.
- Marso, T.M.M.M., Y. Udugala-Ganehenege, C.S. Kalpage., 2017. Metal modified graphene oxide composite catalyst for the production of biodiesel via pre-esterification of Calophyllum inophyllum oil. *Fuel*, Volume 47-64, pp. 199.
- MENLHK, 2014. *Mengurangi Sampah dengan Olah di Tempat*, Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Miandad, R., Barakat, M.A., Rehan, P., Aburiazaiza, A.S., Ismail, I.M.I. dan Nizami, A.S, 2017. Plastic Waste to Liquid Oil Through Catalytic Pyrolysis Using Natural and Synthetic Zeolite Catalysts. *Waste Management*, Volume 69, pp. 66-78.
- Mittlebach, M., Remschmidt dan Claudia., 2004. *Biodiesel The Comprehensive Handbook..* Vienna: Boersedruck Ges.

- Mohr, S.H., Wang, J., Ellem, G., Ward, J., dan Giurco, D, 2015. Projection of World Fossil Fuels by Country. *Fuel* 141 , Volume 141, pp. 120–135.
- Monirul, I. M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Mosarof, M. H., Zulkifli, N. W. M., Teoh, Y. H., Danhowa, H. G., 2016. Assessment of performance, emission and combustion characteristics of palm, jatropha and Calophyllum inophyllum biodiesel blends. *Fuel*, Volume 181, pp. 985-995.
- Muthukumaran, N., Saravanan, C.G., Yadav, S. P. R., Vallinayagam M., Vedharaj, S., Roberts, W.L, 2015. Synthesis of Cracked Calophyllum Inophyllum Oil Using Fly Ash Catalyst for Diesel Engine Application. *Fuel*, Volume 155, pp. 68–76.
- Naik, S. P., Bui, V., Ryu, T., Miller, J. D., Zmierzczak, W, 2010. Al-MCM-41 as methanol dehydration catalyst. *Applied Catalysis A: General*, Volume 381, pp. 183-190.
- Nanthagopal, K., Ashok, B., Raj RT., 2016. Influence of fuel injection pressures on Calophyllum inophyllum methyl ester fuelled direct injection diesel engine. *Energy Convers Manage*, Volume 116, pp. 165-173.
- Nanthagopal, K., Ashok, B., Tamilarasu, A., Johny, A., Mohan, A, 2017. Influence on The Effect of Zinc Oxide and Titanium Dioxide Nanoparticles As An Additive With Calophyllum Inophyllum Methyl Ester In A CI Engine. *Energy Conversion and Management*, Volume 146, pp. 8-19.
- Neha Lamba, Jayant M. Modak, Giridhar Madras, 2017. Fatty acid methyl esters synthesis from non-edible vegetable oils using supercritical methanol and methyl tert-butyl ether. *Energy Conversion and Management*, Volume 138, pp. 77-83.

- Nugroho, A., 2006. *Bioremediasi Hidrokarbon Minyak Bumi*. Yogyakarta, Graha Ilmu.
- Ong, H.C., Masjuki, H.H., Mahlia, T.M.I., Silitonga, A.S., Chong, W.T., Leong, K.Y., 2014. Optimization of Biodiesel Production and Engine Performance from High Free Fatty Acid Calophyllum Inophyllum Oil in CI Diesel Engine. *Energy Conversion and Management*, Volume 81, pp. 30-40.
- Onga, H.C., Mahlia, T.M.I., Masjukia, H.H., Norhasyima, R.S., 2011. Comparison of Palm Oil, Jatropha Curcas and Calophyllum Inophyllum for Biodiesel: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 15, pp. 3501-3515.
- Park, Y.-K., Kim, Y.-M., Lee, H. W., Choi, S. J., Jeon, J.-K., Park, S. H., Jung, S.-C. Dan Kim, S. C, 2017. Catalytic co-pyrolysis of polypropylene and Laminaria japonica over zeolitic materials. *International Journal of Hydrogen Energy*, Volume 42, pp. 18434-18441.
- Peer, M. S., Kasimani, R., Rajamohan, S. dan Ramakrishnan, P., (2017) . xperimental Evaluation on Oxidation Stability of Biodiesel/Diesel Blends with Alcohol Addition by Rancimat Instrument and FTIR Spectroscopy. *Journal of Mechanical Science and Technology*, Volume 31(1), pp. 455-463.
- Pereira-da-Silva, M. d. A. dan Ferri, F. A. , 2015. Scanning Electron Microscopy. Sao Paulo: Elsvier.
- Prasetyoko, D., Fansuri, H., Ni'mah, Y. L., Fadlan, A., 2016. *Karakterisasi Struktur Padatan*. Yogyakarta: Deepublish.
- Rahman, S. A., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Abedin, M. J., Sanjid, A., Sajjad, H., 2013. Production of palm and Calophyllum inophyllum based biodiesel and

- investigation of blend performance and exhaust emission in an unmodified diesel engine at high idling conditions. *Energy Convers Manage*, Volume 73, pp. 362-7.
- Sakthivela, R., Ramesh, K., Purnachandran, R., Shameera, P. M., 2018. A review on the properties, performance and emission aspects of the third generation biodiesels. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 82, pp. 2970–2992.
- Seames, W., Luo, Y., Ahmed, I., Aulich, T., Kubatova, A., Stavova, J., Kozliak, E., 2010. The thermal cracking of canola and soybean methyl esters Improvement of cold flow properties. *biomass and bioenergy*, Volume 34, pp. 939-946.
- Setiawati, E., & Edwar, F., 2012. Teknologi Pengolahan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Teknik Mikrofiltrasi dan Transesterifikasi sebagai Alternatif Bahan Bakar Mesin Diesel. *Jurnal Riset Industri*, Volume 6(2), pp. 117-127.
- Shadangi, K. P., dan Mohanty, K., 2015. Co-pyrolysis of Karanja and Niger seeds with waste polystyrene to produce liquid fuel. *fuel*, Volume 153, pp. 492-498.
- Sibarani, K. L., 2012. *Preparasi, Karakterisasi, dan Uji Aktifitas Katalis Ni-Cr/Zeolit Alam pada Proses Perengkahan Limbah Plastik Menjadi Fraksi Bensin. Dalam SKRIPSI (hal. 15-17).*, Depok: Universitas Indonesia.
- Soto, M. N., Calderón, O. M. H., Fajardo, C. A. G., Castillo, M. A. S., García, T. V., Andrade, I. C., 2012. Biodiesel Current Technology: Ultrasonic Process a Realistic Industrial Application. Biodiesel Zhen Fang, IntechOpen, DOI: 10.5772/52384.

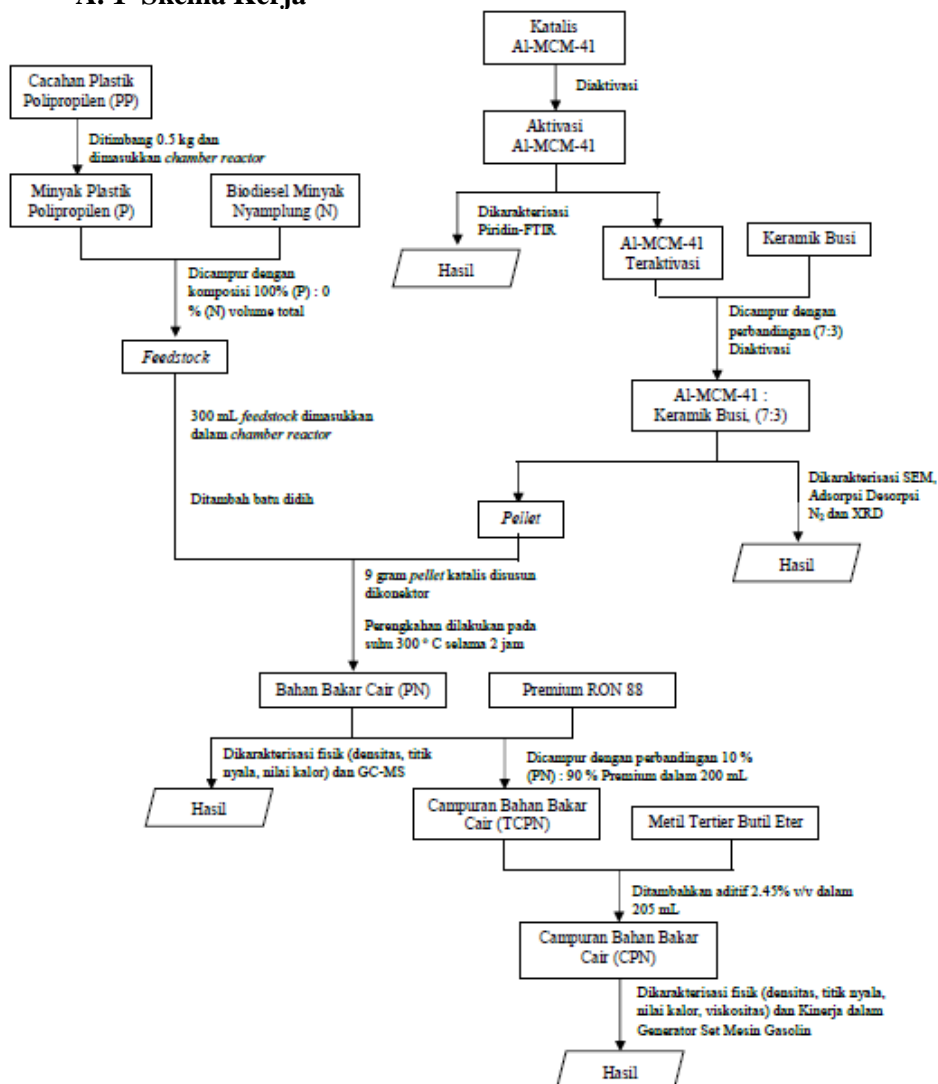
- Stashenko, E dan Martínez, J. R., 2014. Gas Chromatography-Mass Spectrometry. *Advances in Gas Chromatography* Xinghua Guo, IntechOpen, DOI: 10.5772/57492.
- Stocker, M., 2008. Biofuels and Biomass-To-Liquid Fuels in the Biorefinery: Catalytic Conversion of Lignocellulosic Biomass using Porous Materials. *Renewable Resources*, Volume 47, pp. 9200 – 9211.
- Stokes, D. J., 2012. *Environmental scanning electron microscopy for biology and polymer science*. Eindhoven: FEI Company.
- Surono, U. B. dan Ismanto, 2016. Pengolahan Sampah Plastik Jenis PP, PET dan PE Menjadi Bahan Bakar Minyak dan Karakteristiknya. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal (JMST)*, Volume 1(1), pp. 32-37.
- Topgül, T., 2015. The effects of MTBE blends on engine performance and exhaust emissions in a spark ignition engine. *Fuel Processing Technology*, Volume 138, pp. 483–489.
- Vaschetto, E. G., Pecchi, G. A., Casuscelli, S.G., Eimer, G.A, 2014. Nature of the active sites in Al-MCM-41 nano-structured catalysts for the selective rearrangement of cyclohexanone oxime toward ε-caprolactam. *Microporous and Mesoporous Materials*, Volume 200, pp. 110-116.
- Wagner, J. R., 2010. *Multilayer Flexibel Packaging*. Burlington: Elsivier
- Wahyudi, E., Zultiniar dan Saputra, E., 2016. Pengolahan Sampah Plastik Polipropilena (PP) Menjadi Bahan Bakar Minyak dengan Metode Perengkahan Katalitik Menggunakan Katalis Sintetis. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, Volume 11, pp. 17-23.

- Yadav, A, K., Khan, M, E., Dubey, A, M., Pal, A., 2016. Performance and emission characteristics of a transportation diesel engine operated with non-edible vegetable oils biodiesel. *Case Studies in Thermal Engineering*, Volume 8, pp. 236–244.
- Yuan, H., 2006. *ETBE as an additive in gasoline: advantages and disadvantages*, Sweden: Master of Science Thesis, Environmental Science Programme.
- Yusoff, M.N.A.M., Zulkifli, N.W.M., Masjuki, H.H., Harith, M.H., Syahir, A.Z., Kalam, M.A., Mansor, M.F. Azham, A., Khuong, L.S. , 2015. Performance and Emission Characteristics of a Spark Ignition Engine Fuelled With Butanol Isomer-Gasoline Blends. *Transportation Research Part D*, Volume 57 , pp. 23-38.
- Zhang, Q., Shi, L., dan Meng, X, 2016. Removal of Sulfur Compounds in LPG by Heteropoly Acid Modified Al-MCM-41 Mesoporous Molecular Sieve. *Royal Society of Chemistry Advances*, Volume 6, pp. 112201-112209.
- Zhao, Y., Wanga, Y., Duana, D., Ruana, R., Fana, L., Zhou, Y., Daia, L., Lv, J., Liu, Y, 2018. Fast microwave-assisted ex-catalytic co-pyrolysis of bamboo and polypropylene for bio-oil production. *Bioresource Technology*, Volume 249, pp. 69–75.

“Halaman Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN A

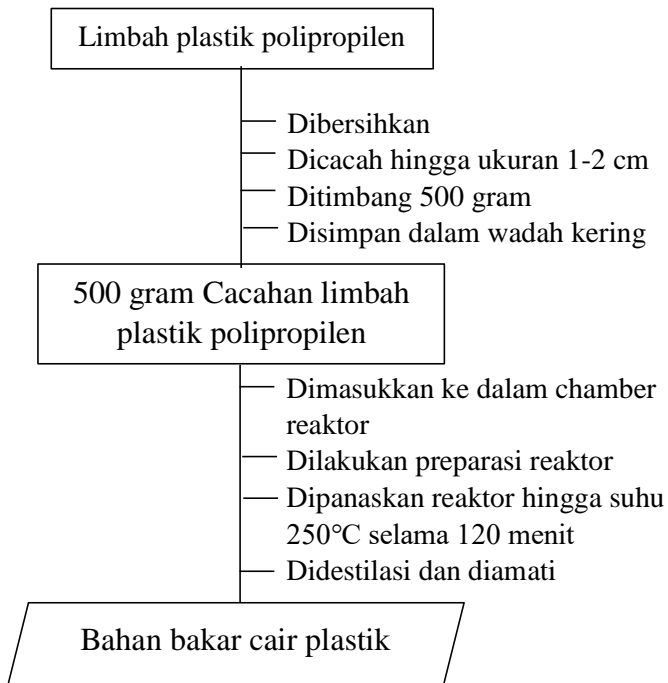
A. 1 Skema Kerja



Gambar A.1 Skema Kerja Produksi Bahan Bakar Cair & Kinerja pada Mesin Gasolin

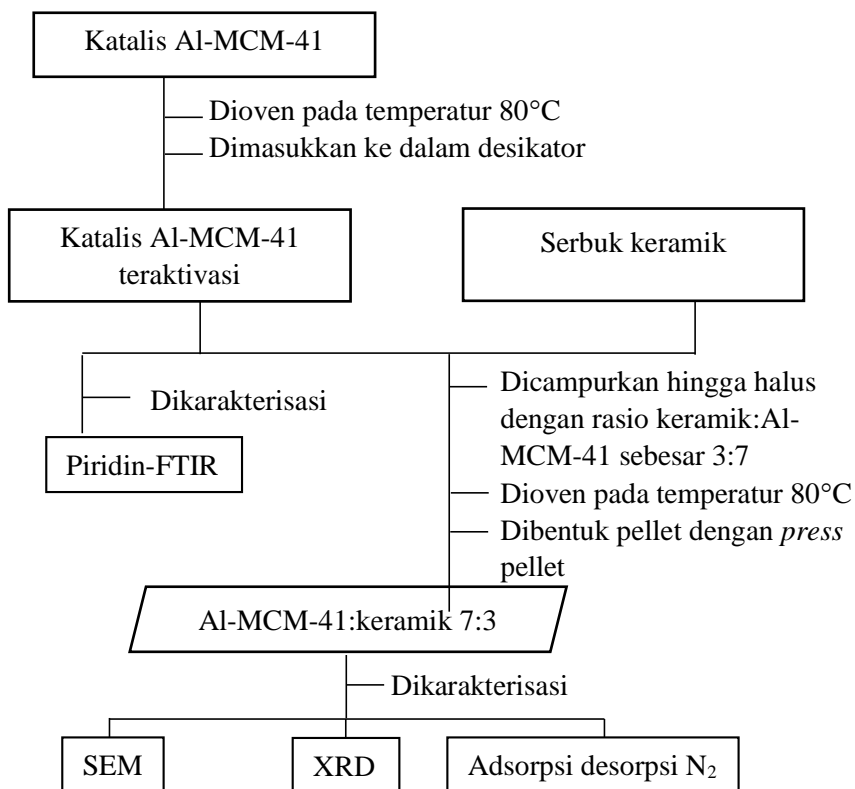
A. 2 Prosedur Kerja

A. 2. 1. Sintesis Bahan Bakar Cair dari Plastik



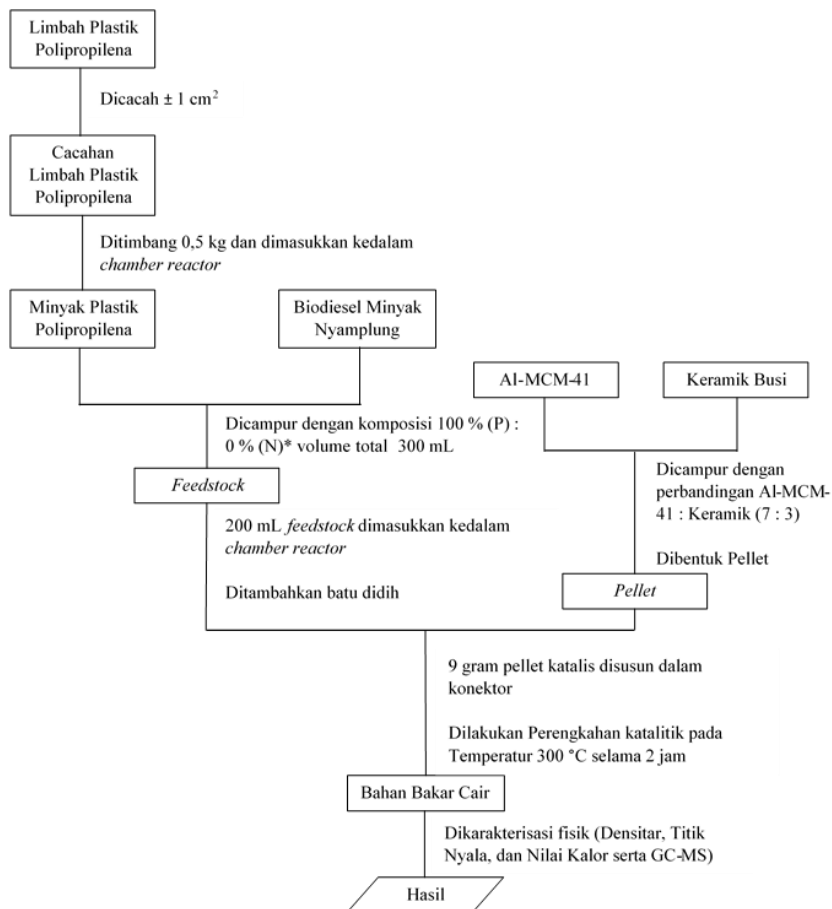
Gambar A.2 Produksi Minyak Polipropilen dengan Metode Perengkahan Termal

A.2.2. Persiapan katalis



Gambar A.3 Aktivasi dan Karakterisasi Katalis Al-MCM-41 :
Keramik Busi

A.2.3. Produksi dan Karakterisasi Bahan Bakar Cair



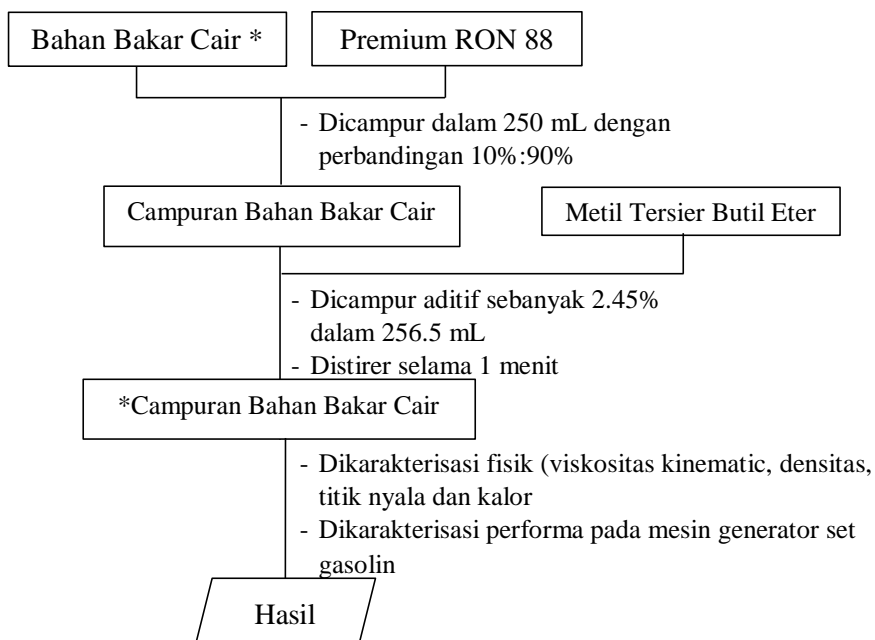
Gambar A.4 Produksi Bahan Bakar Cair Limbah Plastik Polipropilen dan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Nyamplung (PN)

Tabel A.1 Variasi *Feedstock* Limbah Plastik Polipropilen dan Ko-reaktan Biodiesel Minyak Nyamplung

Variasi <i>Feedstock</i>	Bahan Bakar Cair (PN)
100 % (P) : 0 % (N)	PN0
80 % (P) : 20 % (N)	PN20
60 % (P) : 40 % (N)	PN40
50 % (P) : 50 % (N)	PN50
40 % (P) : 60 % (N)	PN60

Keterangan : Variabel (P) : Polipropilen, Variabel (N) : Biodiesel Nyamplung, Variabel (PN) : Bahan bakar cair konversi polipropilen (P) dan ko-reaktan biodiesel nyamplung (N)

A.2.4. Produksi dan Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair



Gambar A.5 Produksi Campuran Bahan Bakar Cair (CPN)

Tabel A.2 Komposisi Campuran Bahan Bakar Cair (CPN)

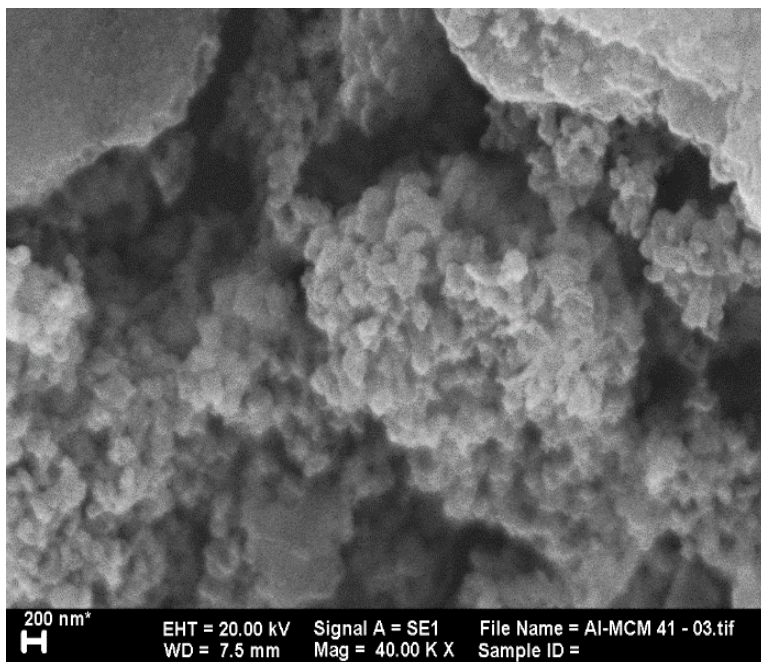
Bahan bakar cair (PN)	Bahan Bakar Cair (v/v)	Premium (88) % (v/v)	MTBE % (v/v)	Campuran Bahan Bakar Cair (CPN)
PN0	10%	90%	2.45 %	CPN0
PN20	10%	90%	2.45 %	CPN20
PN40	10%	90%	2.45 %	CPN40
PN50	10%	90%	2.45 %	CPN50
PN60	10%	90%	2.45 %	CPN60
PN0	10%	90%	0 %	TCPN0

Keterangan : CPN merupakan Campuran bahan bakar cair terdiri dari 10 % (PN) : 90 % (Premium) dalam 200 mL dan ditambahkan Metil Tersier Butil Eter sebesar 2,45% dalam 205 mL, variabel (C) : Campuran, variabel (PN): bahan bakar cair hasil perengkahan, variabel (T): tanpa penambahan MTBE

LAMPIRAN B

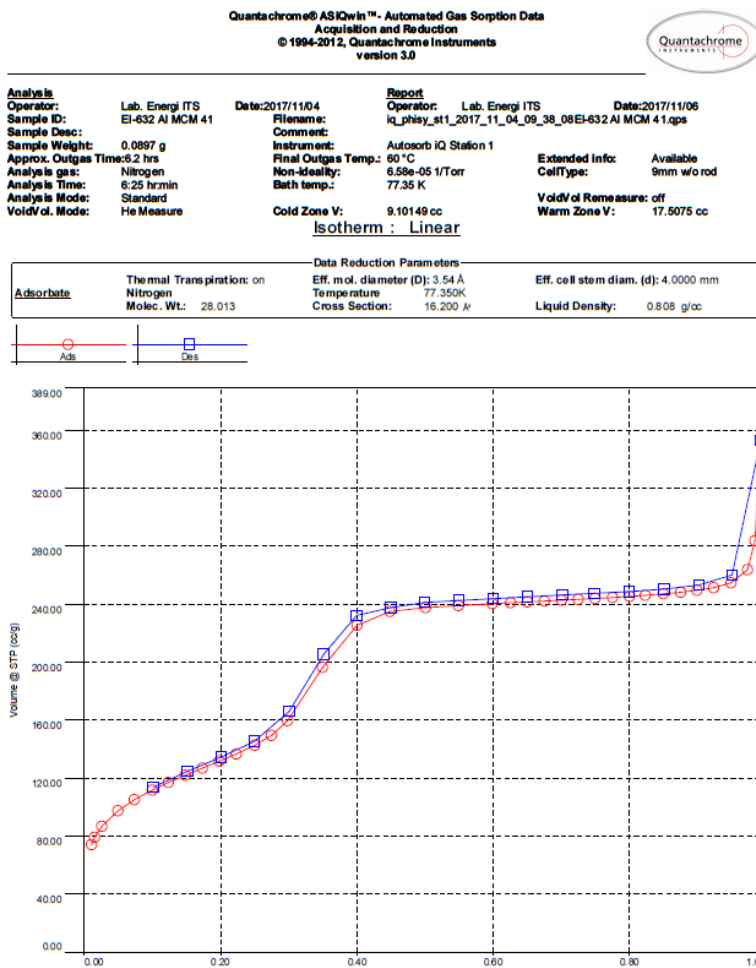
B.1 Karakterisasi Katalis Al-MCM-41 : Keramik Busi (7:3)

B.1.1 Hasil Karakterisasi SEM



Gambar B.1 Hasil Karakterisasi SEM Katalis Al-MCM-41: Keramik Busi (7:3)

B.1.2 Hasil Karakterisasi Adsorpsi – Desorpsi N₂



Gambar B.2 Hasil Karakterisasi Adsorpsi Desorpsi Nitrogen Katalis Al-MCM-41: Keramik Busi (7:3)

Analysis	Lab. Energi ITS	Date: 2017/11/04	Report	Lab. Energi ITS	Date: 2017/11/06
Operator:	EI-032 Al MCM 41	Filename:	iq_phisy_st1_2017_11_04_00_38_08EI-032 Al MCM 41.qps		
Sample Desc:		Comment:			
Sample Weight:	0.0897 g	Instrument:	Autosorb IQ Station 1	Extended info:	Available
Approx. Outgas Time:	8.2 hrs	Final Outgas Temp.:	60 °C	CellType:	0mm w/o rod
Analysis gas:	Nitrogen	Non-ideality:	6.58e-05 1/Torr	VoidVol Remeasure:	off
Analysis Time:	6:25 hr:min	Bath temp.:	77.35 K	Warm Zone V:	17.5075 cc
Analysis Mode:	Standard				
VoidVol. Mode:	He Measure	Cold Zone V:	9.10149 cc		

Multi-Point BET

Data Reduction Parameters Data

Adsorbate	Thermal Transpiration: on	Eff. mol. diameter (D): 3.54 Å	Eff. cell stem diam. (d): 4.0000 mm
Nitrogen		Temperature	77.350K
Molec. WL: 28.013		Cross Section:	16.200 Å²
		Liquid Density:	0.808 g/cc

Multi-Point BET Data

Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W([Po/P] - 1)]	Relative Pressure [P/Po]	Volume @ STP [cc/g]	1 / [W([Po/P] - 1)]
4.93907e-02	97.5120	4.2633e-01	1.98306e-01	131.7496	1.5028e+00
7.34694e-02	105.1283	6.0377e-01	2.23006e-01	136.6651	1.6810e+00
9.99403e-02	111.8222	7.9451e-01	2.50225e-01	142.7277	1.8709e+00
1.23339e-01	116.9850	9.6227e-01	2.74624e-01	149.4425	2.0270e+00
1.48231e-01	122.0402	1.1410e+00	2.98490e-01	159.6475	2.1322e+00
1.73345e-01	126.9117	1.3223e+00			

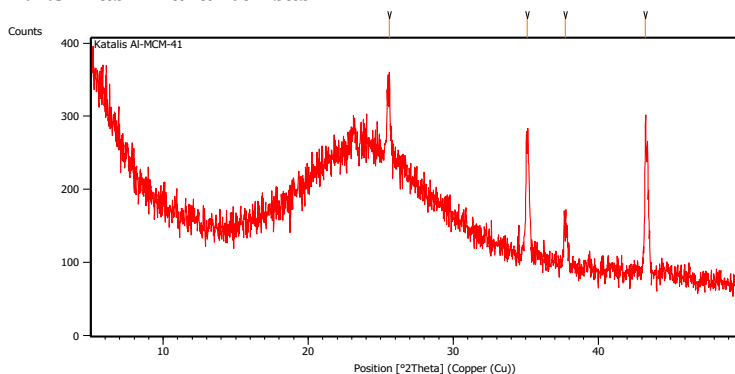
BET summary

Slope = 7.000
Intercept = 9.790e-02
Correlation coefficient, r = 0.999291
C constant = 72.502

Surface Area = 490.665 m²/g

Gambar B.3 Data Luas Permukaan, Pori dan Radii Katalis Al-MCM-41 : Keramik Busi (7:3)

B.1.3 Hasil Karakterisasi XRD

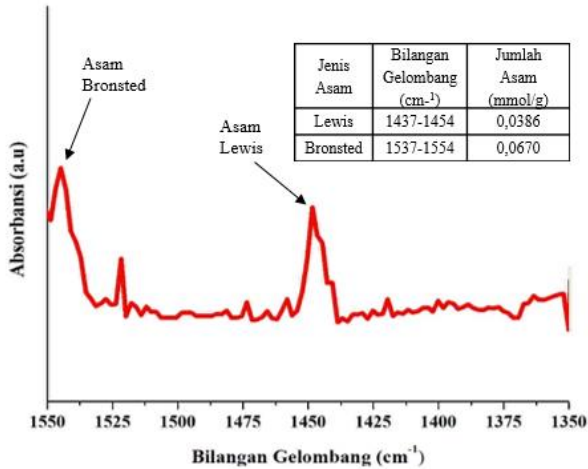


Gambar B.4 Hasil Karakterisasi XRD Katalis Al-MCM-41: Keramik Busi (7:3)

Tabel B.1 Hasil Karakterisasi XRD Katalis Al-MCM-41: Keramik Busi (7:3)

Pos. [°2Th.]	Height [cts]	FWHM Left [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]
25,58	100,27	0,20	3,48	48,71
35,09	152,26	0,23	2,56	73,97
37,75	63,37	0,2	2,38	30,78
43,26	205,84	0,06	2,09	100

B.1.4 Hasil Piridin-FTIR Al-MCM-41



Gambar B.5 Hasil Karakterisasi Piridin-FTIR Katalis Al-MCM-41: Keramik Busi (7:3)

Tabel B.1 Jumlah Sisi Aktif Asam Katalis Al-MCM-41 : Keramik Busi (7:3)

Jenis Asam	Bilangan gelombang (cm ⁻¹)	Jumlah Asam (mmol/g)
Lewis	1437-1454	0,0386
Bronsted	1537-1554	0,0670

LAMPIRAN C

C.1 Karakterisasi Bahan Bakar Cair (PN)

C.1.1 Hasil Konversi BBC

Penentuan *yield* volume dan kokas bahan bakar cair ditentukan berdasarkan rasio volume atau kokas produk dan volume plastik polipropilena (*feed*) Adapun perhitungan *yield* dapat dilihat sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Yield} &= \frac{\text{Volume BBC}}{\text{Volume Feedstock}} \times 100\% \\ &= \frac{162 \text{ ml}}{300 \text{ ml}} \times 100\% = 54\% \end{aligned} \quad (\text{C.1})$$

Perhitungan di atas merupakan perhitungan *yield* untuk bahan bakar cair (BBC) hasil perengkahan 100 % (P) : 0 % (N). Dengan cara yang sama maka dapat diperoleh *yield* volume dan *coke* bahan bakar cair (BBC) setiap variasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel C.1

Tabel C. 1 Data Pengukuran % Konversi Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan Katalitik

Variasi <i>Feedstock</i>	Hasil (mL)	Kokas (mL)	% Konversi	% Kokas
100 % (P) : 0 % (N)	45	162	15	54
80 % (P) : 20 % (N)	85	106	28,33	35,33
60 % (P) : 40 % (N)	56	157	18,67	52,33
50 % (P) : 50 % (N)	48	176	16	58,67
40 % (P) : 60 % (N)	27	198	9	66

C.1.2 Hasil Karakterisasi Nilai Kalor Bahan Bakar Cair (PN)

Tabel C. 2 Data Pengukuran Nilai Kalor Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan Katalitik (PN)

Variasi <i>Feedstock</i>	Kalor (kkal/kg)
100 % (P) : 0 % (N)	13.491,56
80 % (P) : 20 % (N)	14.138,19
60 % (P) : 40 % (N)	11.841,65
50 % (P) : 50 % (N)	11.832,45
40 % (P) : 60 % (N)	11.517,19

C.1.3 Hasil Karakterisasi Titik Nyala Bahan Bakar Cair (PN)

Tabel C. 3 Data Pengukuran Titik Nyala Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan Katalitik (PN)

Variasi <i>Feedstock</i>	Temperatur (°C)
100 % (P) : 0 % (N)	26,1
80 % (P) : 20 % (N)	7,1
60 % (P) : 40 % (N)	11,4
50 % (P) : 50 % (N)	9,4
40 % (P) : 60 % (N)	14,5

C.1.4 Hasil Karakterisasi Densitas Bahan Bakar Cair (PN)

Massa piknometer = 16,9 gram

Massa piknometer + BBC = 24,466 gram

Volume piknometer = 10,182 ml

$$\begin{aligned}\text{Densitas } (\rho) &= \frac{(\text{massa piknometer} + \text{BBC}) - \text{Massa piknometer}}{\text{Volume piknometer}} \quad (\text{C.2}) \\ &= \frac{24,466 \text{ gram} - 16,9 \text{ gram}}{10,182 \text{ ml}} \\ &= 0,743 \text{ gram/ml}\end{aligned}$$

Perhitungan densitas tersebut hasil bahan bakar cair variasi 100 % (P) : 0 % (N). Perhitungan pada masing – masing variasi ditunjukkan pada tabel C.4

Tabel C. 4 Data Pengukuran Densitas Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan Katalitik (PN)

Variasi <i>Feedstock</i>	Massa piknometer kosong (g)	Massa piknometer + BBC (g)	Massa BBC (g)	Densitas (g/mL)
100 % (P) : 0 % (N)	16,9	24,466	7,566	0,743
80 % (P) : 20 % (N)	16,899	24,331	7,432	0,73
60 % (P) : 40 % (N)	16,899	24,372	7,472	0,734
50 % (P) : 50 % (N)	16,898	24,331	7,432	0,73
40 % (P) : 60 % (N)	16,904	24,356	7,451	0,732

C.1.5 Perhitungan % Yield Fraksi Bahan Bakar Cair (PN)

Penentuan *yield* bahan bakar cair ditentukan berdasarkan rasio jumlah luas fraksi bensin (target) dan luas total fraksi. Adapun perhitungan *yield* dapat dilihat sebagai berikut.

$$Yield = \% \text{ area} \times \frac{\text{volume BBC}}{\text{Volume reaktan}} \quad (C.3)$$

$$= 1,57\% \times \frac{45}{300} = 0,235\%$$

Perhitungan di atas merupakan perhitungan *yield* fraksi untuk bahan bakar cair (PN0) hasil perengkahan 100 % (P) : 0 % (N). Dengan cara yang sama maka dapat diperoleh *yield* fraksi bahan bakar cair (PN) setiap variasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel C.5.

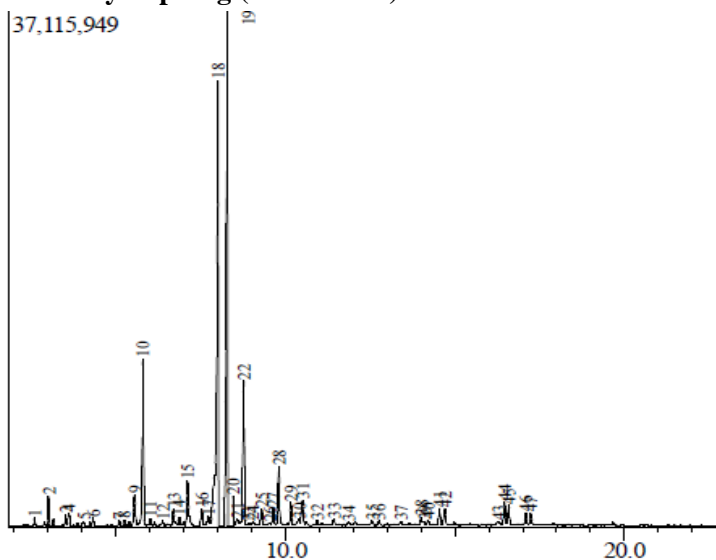
Tabel C.5 % Yield setiap Fraksi Hidrokarbon Bahan Bakar Cair

Variasi Feedstock	% area	Volume BBC (mL)	Volume Feedstock (mL)	% Yield
100 % (P) : 0 % (N)				
< C7	1,29	45	300	0,1935
C7 - C12	93,92			14,088
> C7	0			0
Tidak Teridentifikasi	4,82			0,723
80 % (P) : 20 % (N)				
< C7	6,97	85	300	1,9748
C7 - C12	54,27			15,3765
> C7	0,28			0,0793
Tidak Teridentifikasi	38,49			10,9055
60 % (P) : 40 % (N)				
< C7	6,28	56	300	1,1723
C7 - C12	49,65			9,268
> C7	0			0
Tidak Teridentifikasi	44,04			8,2208
50 % (P) : 50 % (N)				
< C7	8,37	48	300	1,3392
C7 - C12	64,98			10,3968
> C7	0			0
Tidak Teridentifikasi	26,67			4,2672
40 % (P) : 60 % (N)				
< C7	11,28	27	300	1,0152
C7 - C12	58,84			5,2956
> C7	0			0
Tidak Teridentifikasi	29,87			2.6883

LAMPIRAN D

D.1 Hasil Karakterisasi GC-MS Fraksi Rantai Hidrokarbon dalam Bahan Bakar Cair (PN)

Plastik : Nyamplung (100% : 0%)



Gambar D.1 Kromatogram Bahan Bakar Cair PN0

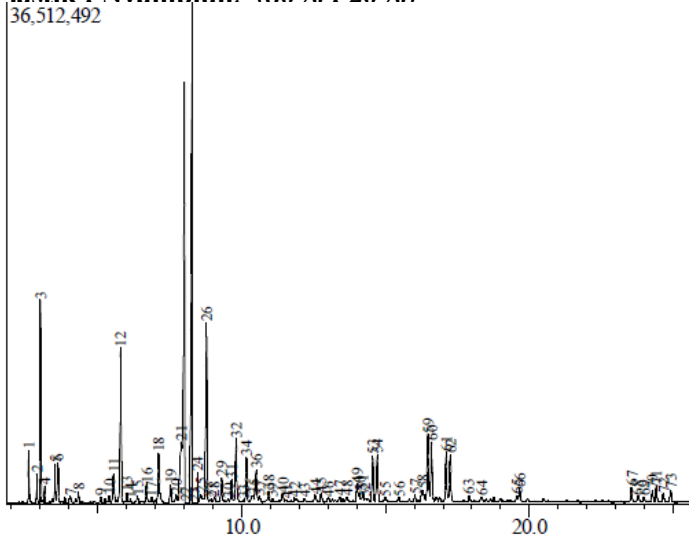
Tabel D.1 Data Luas Area Bahan Bakar Cair PN0

Peak	Waktu Retensi	Waktu Awal	Waktu Akhir	Area %	Fraksi
1	2,586	2,450	2,717	0,33	C4
2	3,002	2,942	3,092	0,96	C6
3	3,503	3,467	3,542	0,39	C7
4	3,596	3,542	3,683	0,64	C7
5	4,040	3,950	4,133	0,29	C7
6	4,306	4,258	4,408	0,45	C7
7	5,096	4,942	5,167	0,29	C8

8	5,224	5,167	5,275	0,28	C8
9	5,537	5,433	5,625	2,29	C8
10	5,781	5,708	5,858	8,64	C8
11	6,001	5,917	6,075	0,52	C8
12	6,358	6,233	6,433	0,41	C8
13	6,685	6,608	6,800	1,20	C8
14	6,849	6,800	6,917	0,59	C8
15	7,101	7,025	7,358	3,49	C9
16	7,524	7,358	7,600	1,31	C9
17	7,728	7,600	7,792	1,00	C9
18	8,008	7,792	8,175	24,88	C9
19	8,283	8,175	8,450	21,47	C9
20	8,458	8,450	8,467	0,28	C5
21	8,565	8,467	8,633	0,75	C9
22	8,767	8,633	8,858	8,98	C9
23	8,907	8,858	8,967	0,26	C9
24	9,033	8,967	9,183	0,54	C9
25	9,301	9,183	9,367	1,28	C9
26	9,512	9,450	9,567	0,27	C9
27	9,636	9,567	9,700	1,15	C9
28	9,801	9,700	9,975	3,70	C10
29	10,154	10,092	10,225	1,36	C10
30	10,393	10,225	10,433	0,64	C9
31	10,493	10,433	10,567	1,58	C10
32	10,935	10,717	11,000	0,36	C10
33	11,426	11,342	11,492	0,32	C10
34	11,865	11,767	11,983	0,35	C7

35	12,559	12,475	12,658	0,33	C10
36	12,754	12,658	12,892	0,34	C10
37	13,407	13,300	13,458	0,27	C10
38	14,011	13,925	14,058	0,54	C10
39	14,102	14,058	14,150	0,28	C11
40	14,200	14,150	14,250	0,32	C11
41	14,549	14,475	14,625	1,06	C11
42	14,700	14,625	14,792	1,03	C11
43	16,274	16,192	16,375	0,34	C10
44	16,459	16,375	16,525	1,50	C9
45	16,588	16,525	16,692	1,23	C9
46	17,096	16,958	17,158	0,78	C12
47	17,245	17,158	17,392	0,76	C12

Plastik : Nvamlung (80% : 20%)



Gambar D.2 Kromatogram Bahan Bakar Cair PN20

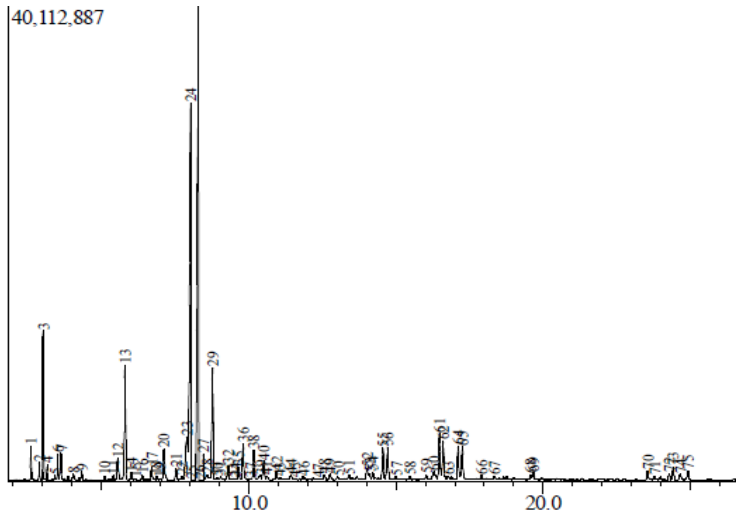
Tabel D.2 Data Luas Area Bahan Bakar Cair PN20

Peak	Waktu Retensi	Waktu Awal	Waktu Akhir	Area %	Fraksi
1	2,588	2,442	2,708	1,20	C5
2	2,873	2,708	2,942	0,72	C6
3	3,002	2,942	3,100	4,30	C6
4	3,137	3,100	3,183	0,40	C6
5	3,503	3,467	3,542	0,96	C7
6	3,600	3,542	3,683	1,18	C7
7	4,040	3,958	4,133	0,34	C7
8	4,307	4,258	4,417	0,44	C7
9	5,095	4,967	5,167	0,25	C7
10	5,382	5,267	5,442	0,33	C8
11	5,537	5,442	5,617	1,46	C8
12	5,781	5,708	5,867	5,50	C8
13	5,999	5,867	6,083	0,55	C8
14	6,129	6,083	6,258	0,20	C8
15	6,361	6,258	6,433	0,36	C8
16	6,686	6,608	6,800	0,90	C8
17	6,852	6,800	6,925	0,28	C8
18	7,102	7,025	7,358	2,60	C9
19	7,524	7,358	7,592	0,93	C9
20	7,729	7,592	7,783	0,60	C9
21	7,894	7,783	7,925	4,00	C9
22	8,058	7,925	8,175	12,58	C27
23	8,317	8,175	8,433	14,38	C22
24	8,450	8,433	8,508	0,29	C5
25	8,569	8,508	8,642	0,57	C8
26	8,775	8,642	8,867	7,66	C9
27	8,917	8,867	8,975	0,21	C9
28	9,035	8,975	9,175	0,40	C9
29	9,305	9,175	9,375	1,28	C9
30	9,513	9,450	9,567	0,23	C9
31	9,638	9,567	9,708	1,08	C9
32	9,803	9,708	9,983	2,93	C10

33	10,051	9,983	10,092	0,18	C10
34	10,160	10,092	10,242	1,89	C10
35	10,394	10,242	10,433	0,63	C11
36	10,497	10,433	10,558	1,44	C10
37	10,603	10,558	10,700	0,35	C6
38	10,939	10,700	11,000	0,73	C10
39	11,056	11,000	11,192	0,33	C10
40	11,429	11,275	11,492	0,65	C10
41	11,544	11,492	11,658	0,22	C10
42	11,833	11,767	11,883	0,24	C9
43	12,174	12,108	12,242	0,21	C12
44	12,562	12,475	12,625	0,40	C10
45	12,758	12,625	12,892	0,51	C10
46	13,017	12,892	13,092	0,28	C13
47	13,409	13,300	13,467	0,32	C12
48	13,655	13,575	13,767	0,32	C10
49	14,016	13,917	14,067	0,89	C10
50	14,101	14,067	14,158	0,43	C10
51	14,203	14,158	14,258	0,46	C10
52	14,290	14,258	14,358	0,18	C10
53	14,558	14,475	14,633	2,01	C8
54	14,710	14,633	14,792	1,97	C11
55	14,993	14,858	15,150	0,31	C9
56	15,476	15,367	15,550	0,24	C11
57	16,025	15,925	16,083	0,26	C10
58	16,273	16,200	16,383	0,75	C10
59	16,473	16,383	16,542	3,11	C10
60	16,601	16,542	16,708	2,42	C9
61	17,107	16,975	17,167	2,04	C12
62	17,254	17,167	17,392	2,04	C12
63	17,898	17,775	18,025	0,28	C14
64	18,337	18,258	18,433	0,22	C13
65	19,568	19,450	19,608	0,29	C11
66	19,669	19,608	19,808	0,63	C10
67	23,565	23,483	23,700	0,72	C17
68	23,784	23,700	23,933	0,39	C17

69	23,994	23,933	24,075	0,27	C12
70	24,284	24,208	24,350	0,52	C26
71	24,422	24,350	24,517	0,71	C12
72	24,672	24,517	24,792	0,43	C12
73	24,924	24,792	25,067	0,63	C12

Plastik : Nyamplung (60% : 40%)



Gambar D.3 Kromatogram Bahan Bakar Cair PN40

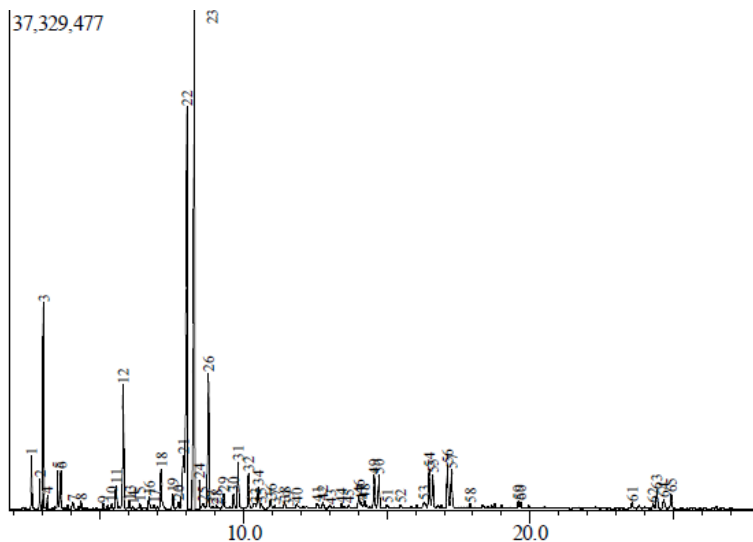
Tabel D.3 Data Luas Area Bahan Bakar Cair PN40

Peak	Waktu Retensi	Waktu Awal	Waktu Akhir	Area %	Fraksi
1	2,591	2,533	2,708	0,92	C5
2	2,876	2,792	2,958	0,53	C6
3	3,005	2,958	3,100	4,18	C6
4	3,140	3,100	3,183	0,44	C6
5	3,408	3,367	3,475	0,21	C6
6	3,507	3,475	3,542	0,79	C7
7	3,603	3,542	3,692	1,03	C7
8	4,042	3,942	4,142	0,34	C7
9	4,311	4,267	4,425	0,44	C7

10	5,102	4,975	5,175	0,23	C8
11	5,386	5,342	5,442	0,26	C8
12	5,541	5,442	5,617	1,41	C8
13	5,784	5,708	5,875	5,22	C8
14	6,002	5,875	6,083	0,62	C8
15	6,133	6,083	6,250	0,27	C8
16	6,363	6,250	6,433	0,49	C8
17	6,691	6,617	6,808	0,94	C8
18	6,857	6,808	6,933	0,37	C8
19	6,976	6,933	7,033	0,23	C8
20	7,106	7,033	7,358	2,40	C9
21	7,526	7,358	7,592	1,02	C9
22	7,730	7,592	7,783	0,69	C9
23	7,885	7,783	7,925	3,56	C9
24	8,017	7,925	8,033	14,37	C9
25	8,050	8,033	8,183	0,20	C11
26	8,325	8,183	8,450	19,18	C9
27	8,458	8,450	8,508	0,36	C7
28	8,568	8,508	8,658	0,74	C8
29	8,769	8,658	8,858	6,30	C9
30	8,914	8,858	8,983	0,40	C9
31	9,036	8,983	9,183	0,57	C9
32	9,307	9,183	9,375	1,19	C9
33	9,425	9,375	9,458	0,20	C8
34	9,523	9,458	9,567	0,28	C9
35	9,639	9,567	9,700	0,95	C9
36	9,804	9,700	9,975	2,43	C10
37	10,049	9,975	10,092	0,27	C8
38	10,163	10,092	10,233	1,71	C10
39	10,398	10,233	10,442	0,71	C11
40	10,498	10,442	10,567	1,13	C10
41	10,608	10,567	10,717	0,39	C9
42	10,944	10,717	11,008	0,81	C10
43	11,063	11,008	11,183	0,33	C10
44	11,434	11,283	11,500	0,58	C10
45	11,558	11,500	11,667	0,24	C8

46	11,846	11,767	11,892	0,28	C8
47	12,366	12,250	12,475	0,19	C11
48	12,565	12,475	12,650	0,34	C10
49	12,764	12,650	12,892	0,40	C10
50	13,020	12,892	13,100	0,21	C13
51	13,409	13,308	13,467	0,27	C8
52	14,021	13,925	14,067	0,65	C10
53	14,107	14,067	14,158	0,34	C10
54	14,209	14,158	14,258	0,36	C10
55	14,562	14,475	14,633	1,68	C11
56	14,714	14,633	14,800	1,65	C11
57	15,000	14,883	15,092	0,24	C9
58	15,482	15,367	15,558	0,21	C11
59	16,031	15,933	16,100	0,24	C11
60	16,278	16,200	16,392	0,69	C10
61	16,477	16,392	16,542	2,62	C9
62	16,603	16,542	16,717	2,08	C9
63	16,774	16,717	16,833	0,19	C12
64	17,110	16,958	17,175	1,80	C12
65	17,259	17,175	17,392	1,81	C12
66	17,904	17,842	18,042	0,23	C9
67	18,346	18,258	18,450	0,20	C11
68	19,574	19,450	19,617	0,25	C10
69	19,674	19,617	19,842	0,44	C12
70	23,569	23,492	23,700	0,49	C17
71	23,792	23,700	23,908	0,22	C26
72	24,291	24,108	24,358	0,36	C17
73	24,428	24,358	24,550	0,66	C12
74	24,679	24,592	24,783	0,37	C12
75	24,931	24,783	25,075	0,57	C12

Plastik : Nyamplung (50% : 50%)



Gambar D.4 Kromatogram Bahan Bakar Cair PN50

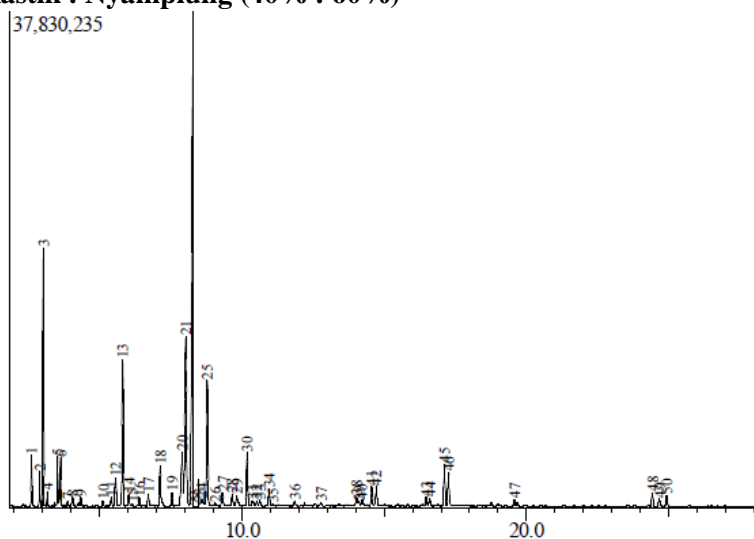
Tabel D.4 Data Luas Area Bahan Bakar Cair PN50

Peak	Waktu Retensi	Waktu Awal	Waktu Akhir	Area %	Fraksi
1	2,592	2,450	2,758	1,43	C5
2	2,877	2,758	2,950	0,90	C6
3	3,007	2,950	3,100	5,32	C6
4	3,142	3,100	3,183	0,38	C6
5	3,509	3,442	3,550	1,18	C7
6	3,606	3,550	3,700	1,39	C7
7	4,046	3,967	4,142	0,40	C7
8	4,316	4,267	4,425	0,42	C7
9	5,104	5,042	5,175	0,26	C8
10	5,389	5,275	5,442	0,35	C8
11	5,545	5,442	5,625	1,50	C8
12	5,788	5,708	5,875	5,45	C8
13	6,008	5,875	6,075	0,52	C8
14	6,135	6,075	6,258	0,22	C8

15	6,367	6,258	6,425	0,35	C8
16	6,696	6,625	6,808	0,76	C8
17	6,863	6,808	6,933	0,28	C8
18	7,110	7,033	7,367	2,55	C9
19	7,531	7,367	7,600	0,89	C9
20	7,734	7,600	7,792	0,60	C9
21	7,894	7,792	7,933	4,12	C9
22	8,017	7,933	8,183	13,85	C9
23	8,283	8,183	8,450	18,20	C9
24	8,458	8,450	8,508	0,29	C7
25	8,576	8,508	8,642	0,50	C9
26	8,775	8,642	8,867	7,10	C9
27	8,922	8,867	8,983	0,23	C9
28	9,040	8,983	9,192	0,37	C9
29	9,310	9,192	9,383	1,01	C9
30	9,645	9,575	9,717	0,91	C9
31	9,809	9,717	9,975	2,61	C10
32	10,167	10,100	10,242	1,76	C10
33	10,405	10,242	10,442	0,60	C11
34	10,504	10,442	10,567	1,20	C10
35	10,610	10,567	10,733	0,34	C6
36	10,949	10,733	11,008	0,71	C10
37	11,068	11,008	11,183	0,29	C10
38	11,439	11,283	11,508	0,57	C10
39	11,543	11,508	11,683	0,21	C12
40	11,849	11,775	12,008	0,46	C8
41	12,572	12,483	12,642	0,35	C10
42	12,766	12,642	12,908	0,46	C10
43	13,029	12,908	13,100	0,26	C10
44	13,418	13,308	13,475	0,32	C10
45	13,667	13,583	13,725	0,23	C10
46	14,025	13,933	14,075	0,76	C10
47	14,111	14,075	14,167	0,38	C10
48	14,213	14,167	14,267	0,43	C10
49	14,566	14,475	14,642	1,71	C11
50	14,717	14,642	14,800	1,64	C11

51	15,003	14,883	15,092	0,31	C10
52	15,482	15,367	15,567	0,25	C11
53	16,284	16,208	16,400	0,53	C12
54	16,478	16,400	16,542	2,17	C12
55	16,605	16,542	16,717	1,73	C9
56	17,116	16,958	17,183	2,20	C12
57	17,264	17,183	17,425	2,00	C12
58	17,904	17,783	18,042	0,22	C9
59	19,582	19,450	19,625	0,37	C10
60	19,673	19,625	19,850	0,36	C10
61	23,572	23,500	23,725	0,33	C17
62	24,295	24,192	24,358	0,23	C17
63	24,433	24,358	24,525	0,96	C12
64	24,683	24,525	24,800	0,55	C12
65	24,934	24,800	25,075	0,79	C12

Plastik : Nyamplung (40% : 60%)



Gambar D.5 Kromatogram Bahan Bakar Cair PN60

Tabel D.5 Data Luas Area Bahan Bakar Cair PN60

Peak	Waktu Retensi	Waktu Awal	Waktu Akhir	Area %	Fraksi
1	2,593	2,458	2,717	1,62	C5
2	2,881	2,783	2,942	1,19	C6
3	3,009	2,942	3,108	7,51	C6
4	3,145	3,108	3,192	0,48	C6
5	3,513	3,475	3,550	1,75	C7
6	3,610	3,550	3,708	1,91	C7
7	3,863	3,808	3,967	0,24	C7
8	4,050	3,967	4,150	0,58	C7
9	4,322	4,275	4,433	0,55	C7
10	5,111	4,967	5,192	0,37	C8
11	5,397	5,350	5,458	0,49	C8
12	5,551	5,458	5,642	2,00	C8
13	5,797	5,642	5,875	7,30	C8
14	6,012	5,875	6,092	0,86	C8
15	6,143	6,092	6,258	0,24	C8
16	6,374	6,258	6,458	0,62	C8
17	6,703	6,633	6,825	0,89	C8
18	7,117	7,042	7,383	2,87	C9
19	7,537	7,383	7,608	0,96	C9
20	7,888	7,783	7,942	4,15	C9
21	8,021	7,942	8,150	12,28	C9
22	8,317	8,150	8,442	21,71	C20
23	8,482	8,442	8,525	0,43	C11
24	8,585	8,525	8,700	0,83	C8
25	8,784	8,700	8,892	7,19	C9
26	9,051	8,992	9,125	0,31	C9
27	9,317	9,208	9,383	1,04	C9
28	9,654	9,567	9,750	0,87	C9
29	9,816	9,750	9,975	0,99	C9
30	10,178	10,100	10,250	3,09	C10
31	10,366	10,250	10,458	0,66	C10
32	10,512	10,458	10,567	0,35	C10
33	10,620	10,567	10,742	0,48	C6

34	10,957	10,742	11,025	1,24	C10
35	11,075	11,025	11,183	0,23	C10
36	11,851	11,783	12,008	0,46	C9
37	12,773	12,650	12,883	0,28	C10
38	14,031	13,942	14,083	0,56	C11
39	14,116	14,083	14,167	0,24	C11
40	14,216	14,167	14,358	0,41	C11
41	14,567	14,492	14,642	1,09	C11
42	14,719	14,642	14,792	1,05	C11
43	16,475	16,400	16,542	0,55	C9
44	16,602	16,542	16,725	0,44	C9
45	17,120	17,000	17,192	2,34	C12
46	17,268	17,192	17,442	1,94	C12
47	19,583	19,483	19,633	0,36	C11
48	24,438	24,350	24,567	0,85	C12
49	24,689	24,567	24,808	0,48	C12
50	24,938	24,808	25,067	0,66	C12

Tabel D.6 Komposisi Fraksi dalam Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan (PN)

Variasi <i>Feedstock</i>	% Komposisi rantai hidrokarbon dalam BBC			
	< C7	C7 – C12	> C12	TT
100 % (P) : 0 % (N)	1,27	93,92	0	4,82
80 % (P) : 20 % (N)	6,97	54,27	0,28	38,49
60 % (P) : 40 % (N)	6,28	49,65	0	44,04
50 % (P) : 50 % (N)	8,37	64,98	0	26,67
40 % (P) : 60 % (N)	11,28	58,84	0	29,87

Tabel D.7 Komposisi Fraksi Gasolin (C7-C12) dalam Bahan Bakar Cair Hasil Perengkahan (PN)

Variasi <i>Feedstock</i>	% Komposisi Tiap Fraksi Karbon dalam BBC							
	<C7	C7	C8	C9	C10	C11	C12	>C12
100 % (P) : 0 % (N)	1,29	1,72	14,22	67,48	9,14	2,41	1,54	0
80 % (P) : 20 % (N)	6,97	3,17	11,04	20,37	16,31	2,84	5,58	0,28
60 % (P) : 40 % (N)	6,28	2,96	10,59	21,48	10,02	3,78	5,21	0
50 % (P) : 50 % (N)	8,37	3,39	9,17	32,76	11,37	4,2	9,2	0
40 % (P) : 60 % (N)	11,28	5,03	12,77	31,21	5,85	2,7	6,27	0

LAMPIRAN E

E.1 Karakterisasi Campuran Bahan Bakar Cair (CPN)

E.1.1 Hasil Karakterisasi Titik Nyala CPN

Tabel E.1 Data Pengukuran Titik Nyala Campuran Bahan Bakar

Jenis Bahan Bakar	Titik Nyala
Premium	-5,8
CPN0	-1,8
CPN20	-5,7
CPN40	-3,5
CPN50	-3,1
CPN60	-2,9
TCPN0	-5,2

E.1.2 Hasil Karakterisasi Nilai Kalor CPN

Tabel E.2 Data Pengukuran Nilai Kalor Campuran Bahan Bakar Cair

Campuran bahan bakar cair	Kalor (kkal/kg)
Premium	9.871,88
CPN0	18.098,44
CPN20	14.807,81
CPN40	14.149,69
CPN50	13.820,63
CPN60	12.175,31
TCPN0	10.200,93

E.1.3 Hasil Karakterisasi Densitas CPN

Massa piknometer = 16,899 gram

Massa piknometer + BBC = 24,284 gram

Volume piknometer = 10,182 ml

$$\text{Densitas } (\rho) = \frac{(\text{massa piknometer} + \text{BBC}) - \text{Massa piknometer}}{\text{Volume piknometer}} \quad (\text{E.1})$$

$$= \frac{24,284 \text{ gram} - 16,899 \text{ gram}}{10,182 \text{ ml}}$$

$$= 0,7253 \text{ gram/ml}$$

Perhitungan densitas tersebut hasil bahan bakar cair variasi 100 % (P) : 0 % (N), Perhitungan pada masing – masing variasi ditunjukkan pada Tabel E.3

Tabel E.3 Data Pengukuran Densitas Campuran Bahan Bakar Cair

Jenis Bahan Bakar	Massa piknometer kosong (gram)	Massa piknometer + CPN (gram)	Massa CPN (gram)	Densitas (g/mL)
CPN0	16,899	24,284	7,385	0,725
CPN20	16,93	24,29	7,360	0,723
CPN40	16,93	24,33	7,400	0,727
CPN50	16,94	24,31	7,370	0,724
CPN60	16,91	24,26	7,350	0,722
Premium RON 88	16,898	24,428	7,531	0,74
TCPN0	16,899	24,428	7,529	0,739

E.1.4 Hasil Karakterisasi Viskositas Kinematik CPN

Diketahui η_{CPN} = Viskositas kinematik bahan bakar cair

η_0 = Viskositas kinematik aquades

t_{PN} = Waktu alir campuran bahan bakar cair

t_0 = Waktu alir aquades

ρ_{CPN} = Densitas campuran bahan bakar cair

ρ_0 = Densitas aquades

$$\text{Viskositas } \eta_{CPN} = \eta_{air} \frac{t_{PN}, \rho_{PN}}{t_{air}, \rho_{air}} \quad (C. 2)$$

$$= 0,658 \text{ cSt} \frac{1,721 \text{ s} \times 725,26 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{3,14 \text{ s} \times 996,44 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$= 0,262 \text{ cSt}$$

**Tabel E.4 Data Pengukuran Viskositas Kinematik Campuran
Bahan Bakar Cair (CPN)**

Campuran Bahan Bakar Cair (CPN)	t Alir CPN (s)	Densitas CPN (kg/m ³)	Viskositas Kinematik Air (cSt)	t Alir Air (s)	Densitas Air (kg/m ³)	Viskositas Kinematik CPN (cSt)
CPN0	1,721	725,26	0,658	3,14	996,44	0,262
CPN20	1,589	722,84	0,658	3,14	996,44	0,242
CPN40	1,645	726,77	0,658	3,14	996,44	0,251
CPN50	1,623	723,83	0,658	3,14	996,44	0,247
CPN60	1,633	721,86	0,658	3,14	996,44	0,248
Premium	1,76	739,63	0,658	3,14	996,44	0,274
TCPN0	1,761	739,48	0,658	3,14	996,44	0,274

LAMPIRAN F

F.1 Data Performa Jenis Bahan Bakar Cair dalam Generator Set Gasolin

Perhitungan persentase efisiensi campuran bahan bakar cair jenis CPN0

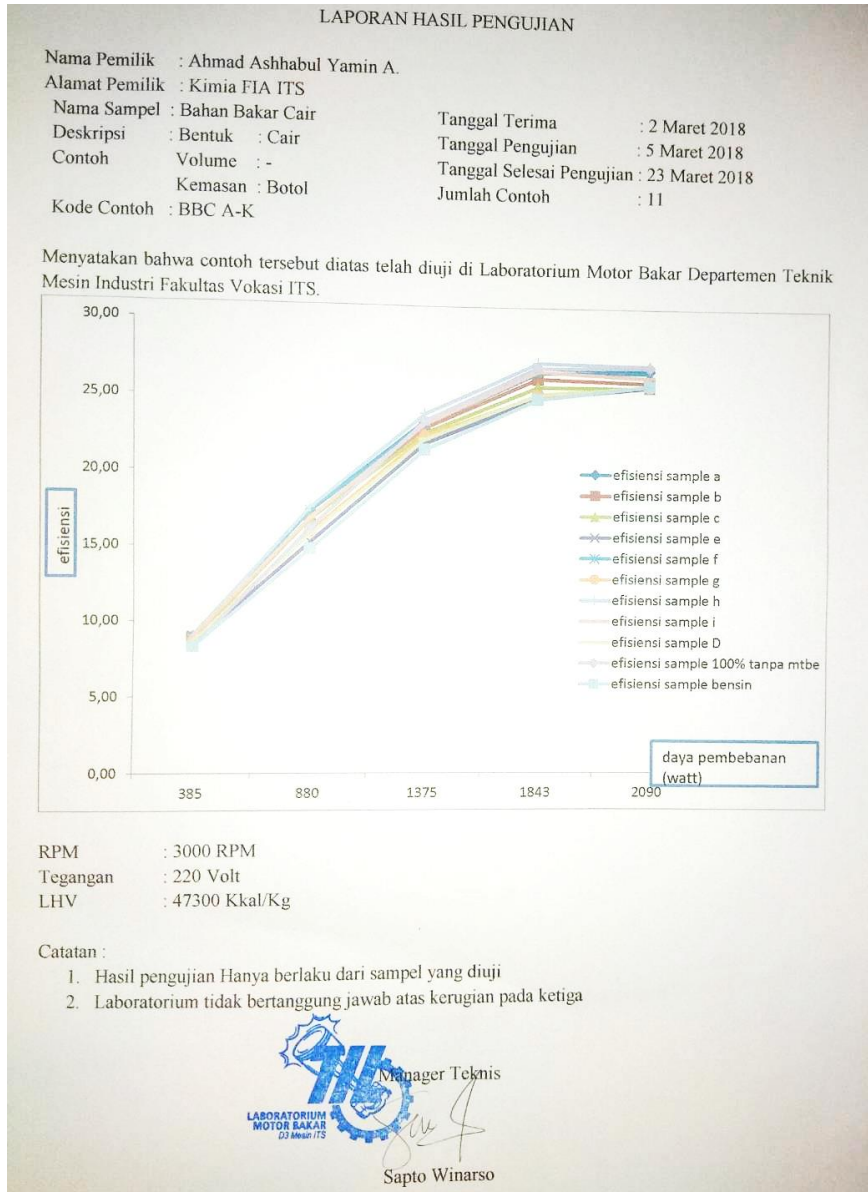
Diketahui : Daya Power (BHP) = 2.375 watt = 8.550 kJ/jam

LHV = 47.300 kJ/kg

Laju bahan bakar (M_{bbc}) = 0,66 kg/jam

$$\begin{aligned}\text{Effisiensi } (\eta) &= \frac{\text{BHP } \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)}{M_{bbc} \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}}\right) \times \text{LHV } \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)} \times 100 \% \quad (\text{F.1}) \\ &= \frac{8550 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)}{0,66 \left(\frac{\text{kg}}{\text{jam}}\right) \times 47300 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right)} \times 100 \% \\ &= 27,18 \%\end{aligned}$$

Gambar F.1 Hasil Pengujian Kinerja Campuran Bahan Bakar Cair



Tabel F.1 Kinerja Jenis Bahan Bakar Cair dalam Generator Set Gasolin

CPN0									
No	Tegangan (V)	Arus (A)	t/20 cc	Daya G (Watt)	Daya P (Watt)	Torsi (Nm)	M _{bbc} (kg/jam)	BSFC (kg/wh)	Eff (%)
1	220	1,40	129,62	385	438	1,23	0,40	0,000914	8,33
2	220	3,20	110,96	880	1000	2,80	0,47	0,000467	16,29
3	220	5,00	102,5	1.375	1563	4,38	0,51	0,000324	23,51
4	220	6,70	88,07	1.843	2094	5,87	0,59	0,000281	27,07
5	220	7,60	77,96	2.090	2375	6,66	0,66	0,000280	27,18
CPN20									
1	220	1,40	138,87	385	438	1,23	0,37	0,000857	8,88
2	220	3,20	116,06	880	1000	2,80	0,45	0,000448	16,97
3	220	5,00	100,77	1.375	1563	4,38	0,52	0,000331	23,03
4	220	6,70	86,16	1.843	2094	5,87	0,60	0,000288	26,38
5	220	7,60	75,37	2.090	2375	6,66	0,69	0,000291	26,18
CPN40									
1	220	1,40	137,68	385	438	1,23	0,38	0,000869	8,76
2	220	3,20	116,04	880	1000	2,80	0,45	0,000451	16,88
3	220	5,00	99,86	1.375	1563	4,38	0,52	0,000335	22,69
4	220	6,70	84,8	1.843	2094	5,87	0,62	0,000295	25,82
5	220	7,60	74,79	2.090	2375	6,66	0,70	0,000295	25,84
CPN50									
1	220	1,40	134,9	385	438	1,23	0,38	0,000878	8,66
2	220	3,20	108,23	880	1000	2,80	0,48	0,000479	15,89
3	220	5,00	97,13	1.375	1563	4,38	0,53	0,000342	22,28
4	220	6,70	82,43	1.843	2094	5,87	0,63	0,000300	25,34

5	220	7,60	74,38	2.090	2375	6,66	0,70	0,000293	25,94
CPN60									
1	220	1,40	133,68	385	438	1,23	0,39	0,000889	8,56
2	220	3,20	104,72	880	1000	2,80	0,50	0,000496	15,34
3	220	5,00	96,11	1.375	1563	4,38	0,54	0,000346	21,99
4	220	6,70	81,8	1.843	2094	5,87	0,64	0,000303	25,08
5	220	7,60	74,37	2.090	2375	6,66	0,70	0,000294	25,87
TCPN0									
1	220	1,40	141,68	385	438	1,23	0,37	0,0008	9,03
2	220	3,20	119,77	880	1000	2,80	0,44	0,0004	17,45
3	220	5,00	103,14	1.375	1563	4,38	0,51	0,0003	23,49
4	220	6,70	88,8	1.843	2094	5,87	0,59	0,0003	27,10
5	220	7,60	77,98	2.090	2375	6,66	0,67	0,0003	26,98
Premium RON 88									
1	220	1,40	133,47	385	438	1,23	0,40	0,0009	8,35
2	220	3,20	104,07	880	1000	2,80	0,51	0,0005	14,87
3	220	5,00	96,56	1.375	1563	4,38	0,55	0,0004	21,56
4	220	6,70	83,53	1.843	2094	5,87	0,64	0,0003	25,00
5	220	7,60	76,51	2.090	2375	6,66	0,70	0,0003	25,97

LAMPIRAN G

G.1 Standar Baku Mutu Bahan Bakar Minyak Jenis Bensin G.1.1 SNI 06-3506-1994

No	Sifat	Satuan	Batasan	
			Min	Maks
1	Angka Oktana	RON	88,0	
2	Titik didih akhir	°C		205
3	Densitas Pada 15°C	kg/m ³	715	770
4	Warna		Kuning	
5	Kandungan Pewarna	gr/100L		0,5

G.1.2 Spesifikasi Bahan Bakar Cair Jenis Gasoline Standar ASTM Berdasar Jurnal (Ahmad dkk., 2017)

NO	Karakteristik	Metode	Gasolin
1	Densitas @ 15°C (g/cm ³)	ASTM D 1480	0,72-0,78
2	Viskositas Kinematik @ 40°C (mm ² /s)	ASTM D 445	< 1.17
3	Nilai kalor (kkal/kg)	ASTM D 4809-13/IP 12	10.150,95
4	Titik Nyala °C	ASTM D 93	< 42

BIODATA PENULIS



Penulis bernama A.Ashhabul Yamin Amrullah yang dilahirkan di Pasuruan pada tanggal 7 Desember 1995. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis pernah menempuh pendidikan di SD Bugul Kidul 1 Pasuruan, MTsN Kota Pasuruan, dan SMAN 1 Kota Pasuruan. Penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Kimia Fakultas Ilmu Alam (FIA) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) melalui jalur SNPMPTN pada tahun 2014 dan terdaftar sebagai mahasiswa Kimia ITS dengan NRP 0211440000040. Penulis pernah melakukan kerja praktik di PT. Holcim Indonesia Tbk ditempatkan di Laboratorium Teknikal Plant Tuban. Penulis aktif berorganisasi selama menempuh pendidikan di ITS. Penulis pernah menjabat menjadi Ketua pelaksana Chemistry Week 9 tahun 2016/2017. Penulis menyelesaikan pendidikannya di Jurusan Kimia FIA ITS dengan mengambil tugas akhir yang berjudul “Kinerja Bahan Bakar Cair Dari Limbah Plastik Polipropilena Dan Ko-Reaktan Biodiesel Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) Pada Mesin Gasolin Dengan Aditif Metil Tersier Butil Eter”. yang dibimbing oleh Dr. Hendro Juwono, M.Si. Penulis dapat diajak berdiskusi mengenai tugas akhir maupun topik lainnya dan dapat dihubungi melalui email ahmadyamin07@gmail.com